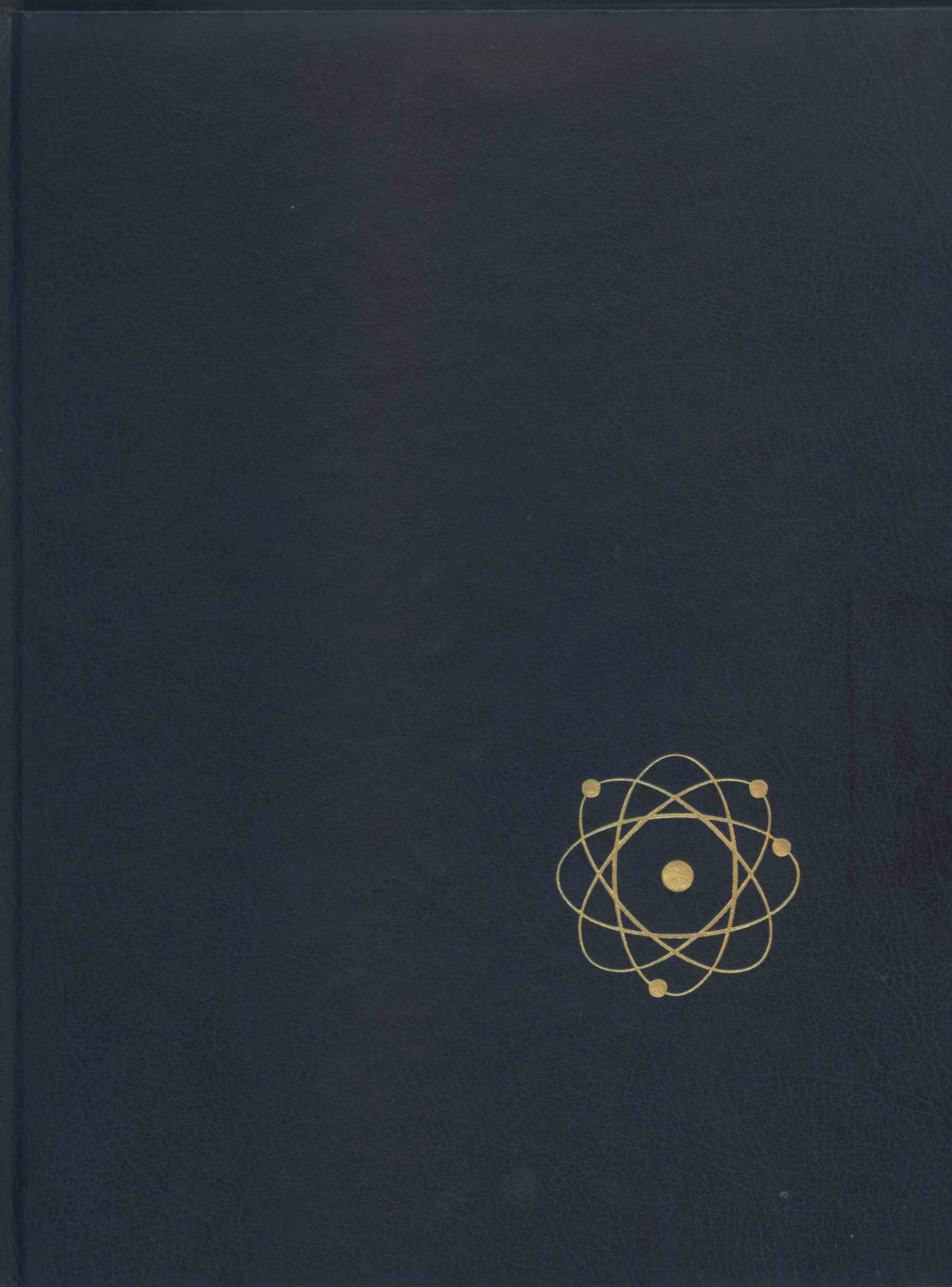
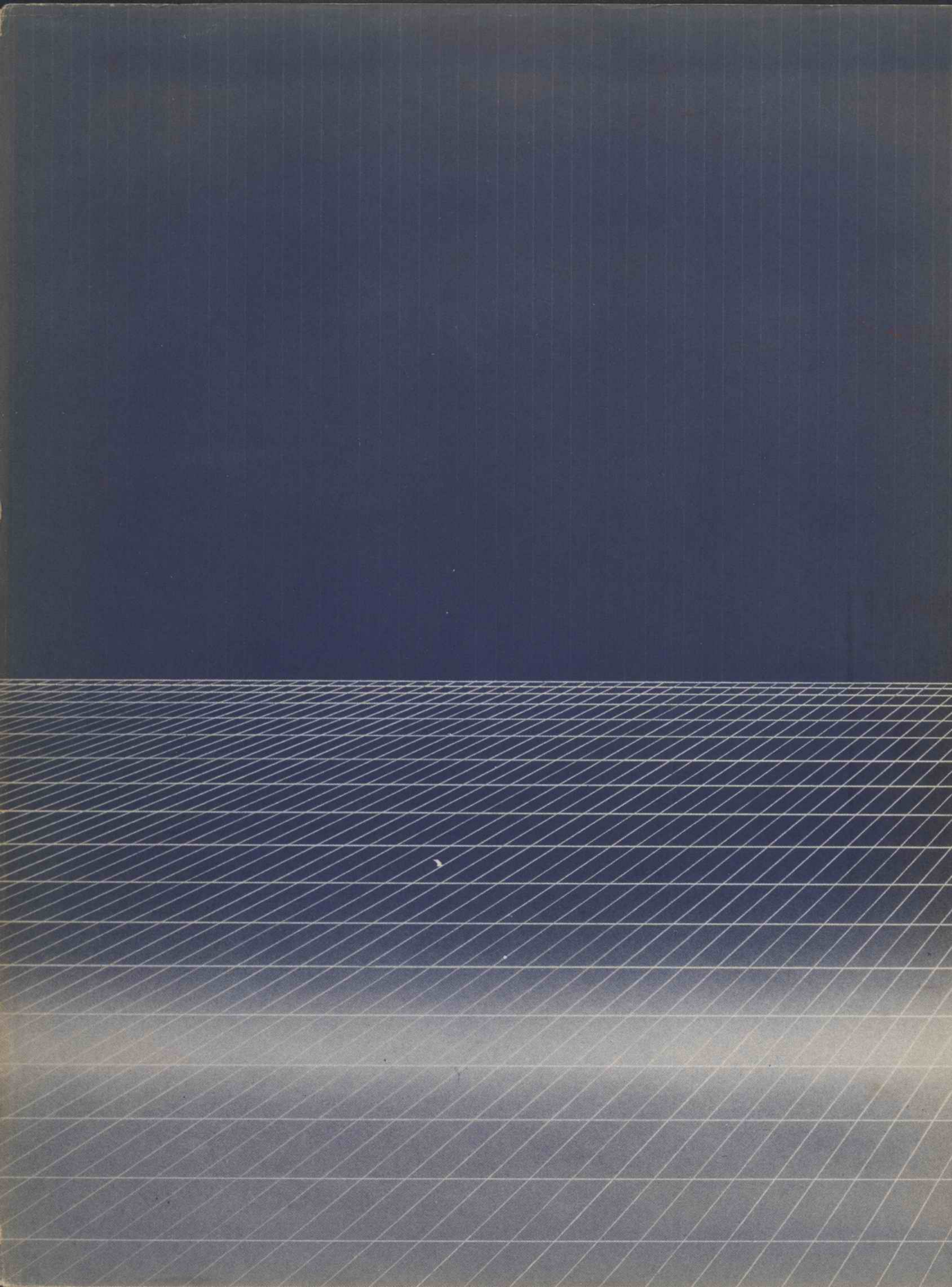
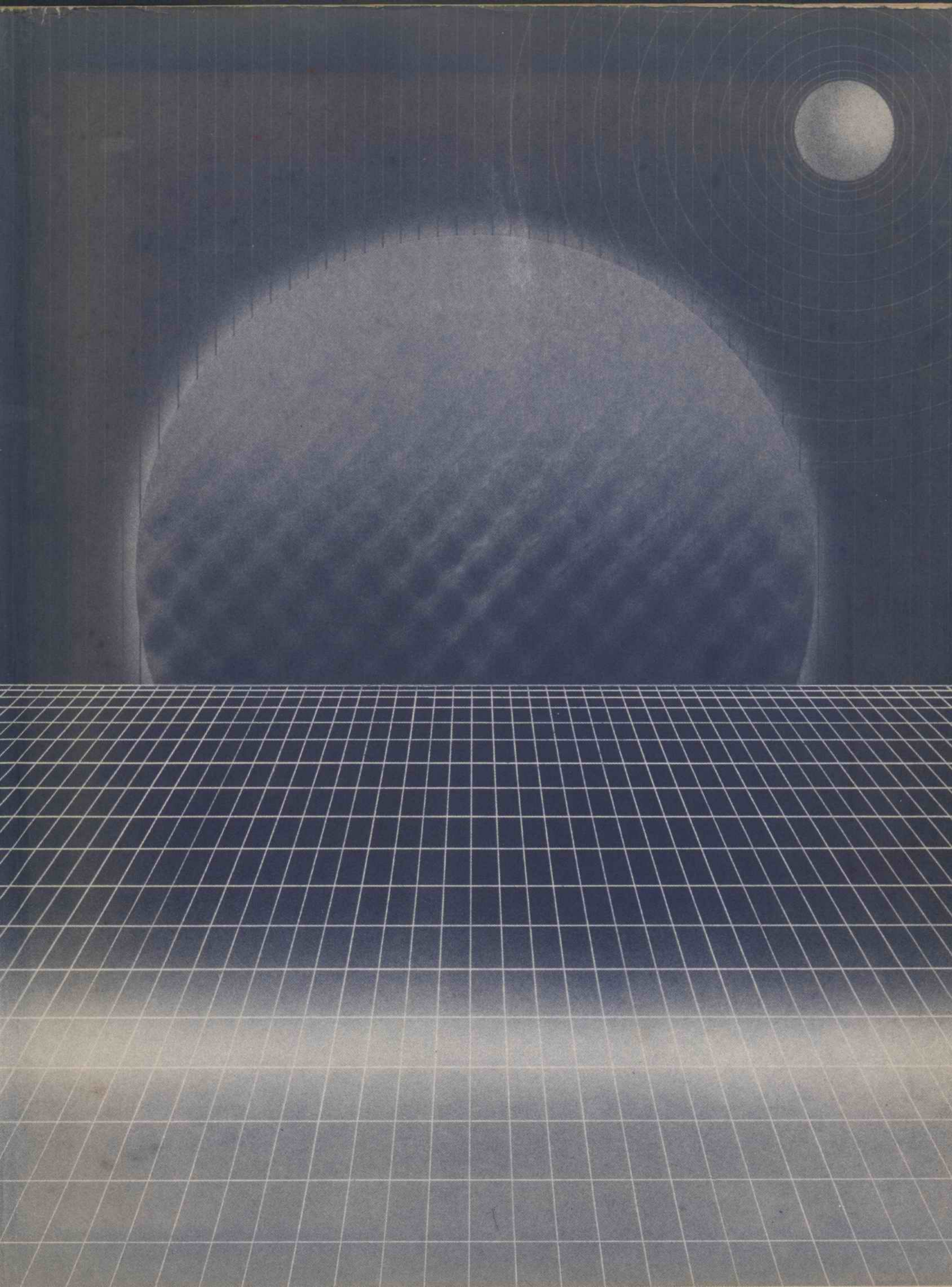
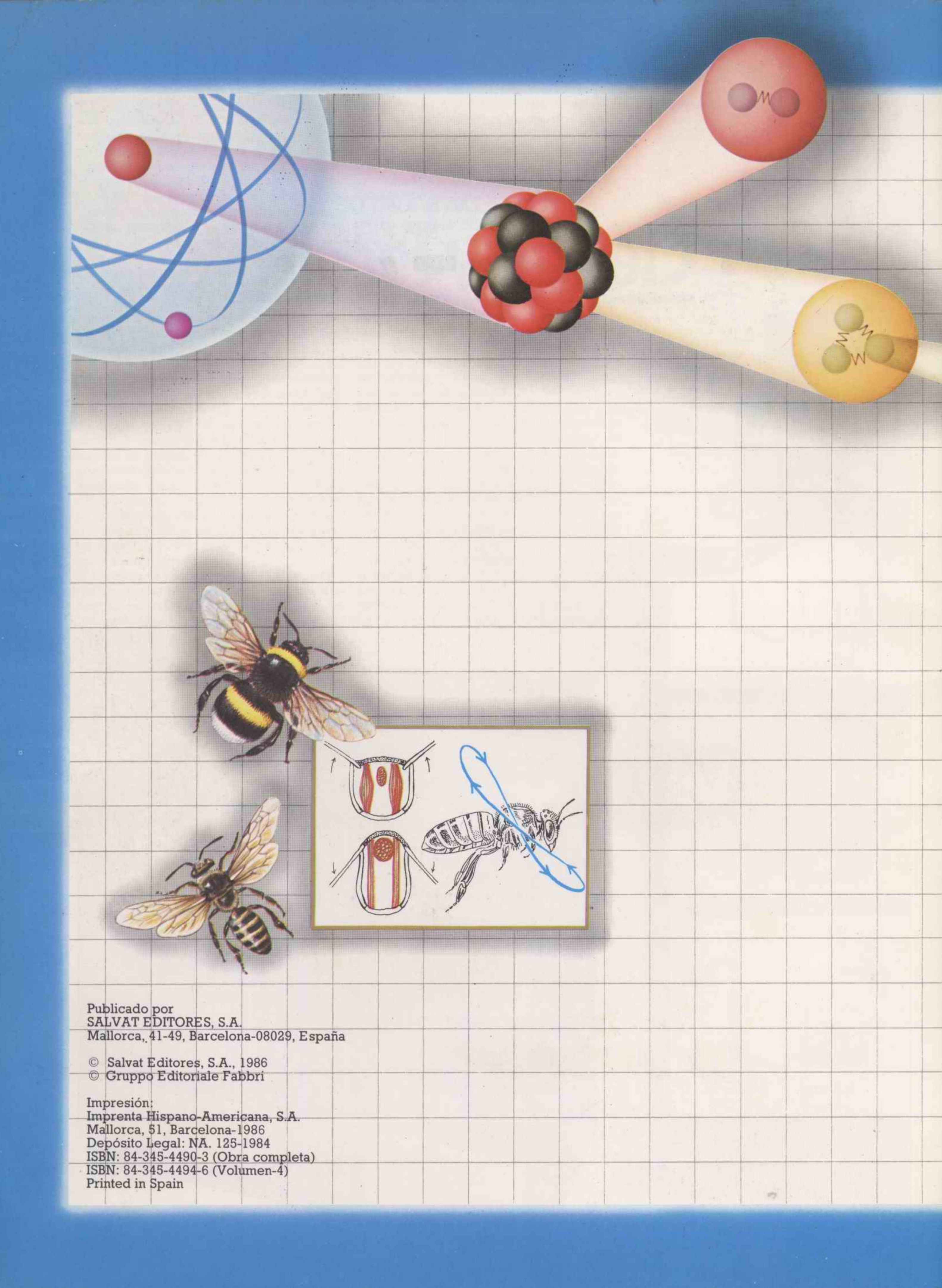






ENCICLOPEDIA SALVAT DE

Ciencia y Técnica



Publicado por
SALVAT EDITORES, S.A.
Mallorca, 41-49, Barcelona-08029, España

Impresión:
Imprenta Hispano-Americana, S.A.
Mallorca, 51, Barcelona-1986
Depósito Legal: NA. 125-1984
ISBN: 84-345-4490-3 (Obra completa)
ISBN: 84-345-4494-6 (Volumen-4)
Printed in Spain


ENCICLOPEDIA SALVAT DE
Ciencia y Técnica

Director
Juan Salvat

Director de la obra:
Jesús Campos

Secretaría de redacción
Concepción Camarero

Director artístico
Francesc Espluga

Redacción
María Teresa M. Faraldo

Producción
Leonor Murillo

Prólogo
Pedro Laín Entralgo,
Presidente de la Real Academia Española de la Lengua



Redacción Edición Internacional

Christian Angermann – Donald Antrim – Timothy Bay – Trudy Bell – Shelley Berc – David Black – Diane Blanchard – Bonnie Borenstein – Judith Brister – Jean Brody – Serena Cha – Robert Crease – Peter Cunningham – Dr. Rhodes Fairbridge – Marguerite Feitlwitz – Corinna Gardner – Barbara George – Ellen Goldensohn – Jean Grasso – Fitz Patrick – Peter Gyallay-Pap – Steve Hall – James Harris – Doug Henwood – David Herndon – Paul Hoeffel – Andrea Kantor – Jonathan Katz – Jim Keegan – Philippa Keil – Percy Knauth – Bary Koffler – Barbara Kopit – Paulette Licitra – Becky London – Deborah Lumpee – Charles Mann – Robert MacVicar – Dale McAdoo – Fred Nadis – Joy Nager – Peter Oberlink – Robert Salter – Sandra Sharp – George Shea – Howard Smith – Zev Trachtenberg – Vieri Tucci – Edit Emili Villareal – Veronica Visser – Graham Yost – Sasha Zeif

Colaboradores científicos de este volumen, edición española:

Manuel Abejón, *Universidad Politécnica de Madrid*
Alberto Brito, *Universidad de La Laguna*
Javier Cacho, *Comisión Nacional de Investigación del Espacio*
Mercedes Campos, *Universidad de La Laguna*
César Casquet, *Universidad Complutense*
José Luis Comellas, *Universidad de Sevilla*
Juan José Díez, *Universidad Complutense*
Sebastián Dormido, *Universidad Nacional de Educación a Distancia*
José Vicente García, *Instituto "Daza Valdés"*
Manuel Gil, *Comisión Nacional de Investigación del Espacio*
Ildefonso Irún, *Licenciado en Ciencias Físicas*
José M. López Piñero, *Universidad de Valencia*
Juan Ramón Medina, *Universidad de Sevilla*
Nieves Meléndez, *Universidad Complutense*
María Rosa Miracle, *Universidad de Valencia*
Francisco Montero de Espinosa, *Instituto "L. Torres Quevedo"*
José M. Morán, *Universidad Politécnica de Madrid*
Germiniano Ontañón, *Licenciado en Ciencias Químicas*
Antonio Ramos, *Instituto "L. Torres Quevedo"*
María Jesús Sáinz de Aja, *Comisión Nacional de Investigación del Espacio*
Pilar Soto, *Licenciada en Psicología*
Eduardo Zamarripa, *Piloto*

Cirugía plástica

La cirugía plástica es una de las muchas disciplinas que se han desarrollado, desgraciadamente, bajo la urgencia que impone la guerra. Así, llega a convertirse en una especialidad fundamental tras la terrible y sangrienta guerra originada por el primer gran conflicto mundial (1914-18), que causó millares de heridos y de mutilados. Con la experiencia obtenida de miles de intervenciones en víctimas de las dos guerras mundiales, la cirugía plástica se ha convertido en una rama fundamental de la cirugía. Su finalidad no consiste solamente en la reconstrucción estética, sino también en el restablecimiento de las funciones del organismo, objetivo considerado durante algún tiempo fuera de las posibilidades del cirujano.

La cirugía plástica debe afrontar problemas muy específicos y particulares. Dado que interviene principalmente sobre las superficies corporales, en el rostro y en la reconstrucción de zonas externas, el aspecto posoperatorio es de gran relevancia; particular importancia revisten, por lo tanto, las suturas en cirugía plástica. El cirujano, si ello es posible, realizará las incisiones siguiendo los pliegues de la piel y, para suturar, utilizará hilos muy delgados a fin de que la sutura resulte casi invisible. Los puntos de sutura exteriores frecuentemente se quitan antes que los interiores, dejando sólo estos últimos para mantener cerrada la herida.

En la actualidad la cirugía plástica interviene en varias regiones corporales: las intervenciones en casos de malformaciones congénitas, como el labio leporino, fueron de las primeras que se efectuaron y todavía siguen siendo abundantes. Actualmente son frecuentes las intervenciones para el tratamiento de traumatismos por accidentes, incluyendo las quemaduras y las intervenciones para la extirpación de tumores. Este último sector está casi completamente confiado al especialista en cirugía plástica, ya que la extirpación de tumores es causa frecuente de deformidades considerables.

Una especialidad relativamente nueva es la cirugía microvascular, hecha posible gracias a intervenciones con microscopio y con la ayuda de minúsculos instrumentos y finísimos hilos de sutura. En este sector están comprendidas también las intervenciones destinadas a unir de nuevo los miembros, manos y pies, amputados bruscamente en accidentes.

Las intervenciones de biefaroplastia, con las cuales se operan los párpados, permiten modificar radicalmente la expresión del rostro, sobre todo en el caso de un exceso de grasa localizado debajo de los párpados. En este caso la intervención se inicia mediante una incisión inmediatamente por debajo del borde ciliar y con la angulación del borde músculo-cutáneo. A continuación se procede a la extirpación de la grasa. La operación se concluye con una sutura que posteriormente resultará absolutamente invisible.

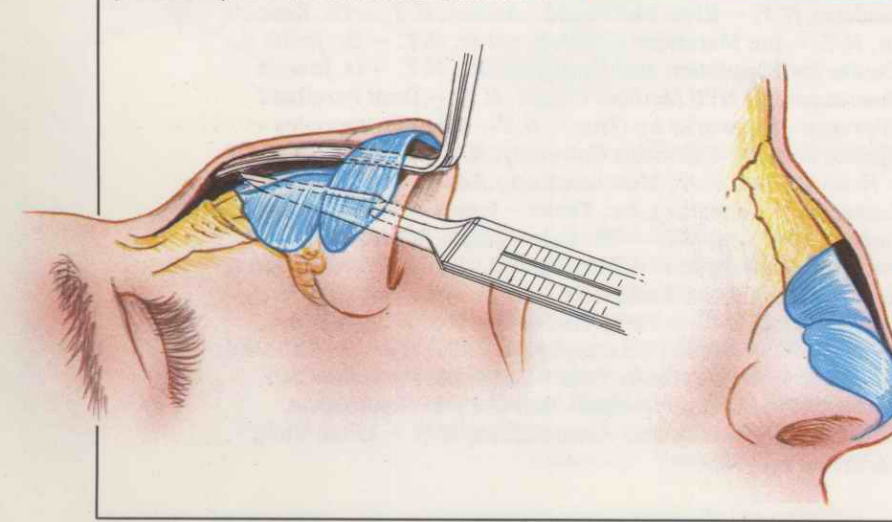
Cirugía de la mano y cirugía estética

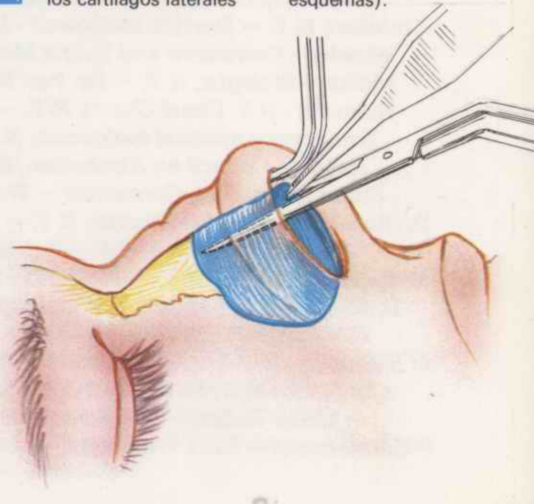
Los campos en los que se advierten los mayores progresos son la cirugía de la mano y la cirugía estética: la eliminación de arrugas mediante la elevación y el estiramiento de la piel del rostro, del cuello y de otras partes del cuerpo. Actualmente, cerca del 90% de las intervenciones de la cirugía estética se llevan a cabo en mujeres, si bien el número de hombres que recurre a este tipo de operaciones está creciendo.

El especialista en cirugía plástica ha llegado a ser uno de los principales expertos en trasplantes cutáneos, siendo éstos una parte importante del trabajo de reconstrucción; para cubrir heridas por quemaduras, por ejemplo, pueden necesitarse injertos relativamente grandes de piel.

En tiempos relativamente recientes, la piel para un injerto debía ser cortada a mano mediante un procedimiento largo y laborioso. La invención del dermatomo, un instrumento que corta trozos de piel de cualquier espesor y casi automáticamente, ha aumentado el porcentaje de éxitos en los trasplantes y al mismo tiempo ha mejorado la eficacia de su ejecución.

La corrección quirúrgica de las imperfecciones nasales (rinoplastia) es en nuestros días una técnica muy utilizada y segura, tanto por los resultados como por los eventuales incidentes. En la imagen inferior, de izquierda a derecha, se muestran las diferentes fases de la corrección quirúrgica de una deformidad nasal debida principalmente a la presencia de cartílago (indicado en azul). La intervención se inicia con la separación de los cartílagos laterales del tabique. Los dibujos sucesivos indican la importancia de las correcciones que deben llevarse a cabo (color oscuro). Continuando en el proceso de la intervención, se bajan los cartílagos y se inicia la segunda fase de la operación, en la cual se procede a la extirpación de la estructura ósea en exceso. La operación se realiza utilizando una gubia, que permite también la eliminación de eventuales residuos de cartílago (ver los dos últimos esquemas).





Muchos injertos se toman de la piel de los glúteos y de los muslos, lugares donde se encuentran disponibles superficies relativamente amplias y donde son menores los problemas de cicatrización. Dado que a menudo estas superficies se encuentran lejos de las partes en las que es necesaria la piel, se han desarrollado varias técnicas para el trasplante cutáneo. La técnica que con más frecuencia se lleva a cabo es la de hacer rotar un trozo de piel para cubrir el área de la herida. A su vez, para asegurar el crecimiento del injerto en el lugar requerido, éste debe ser transferido temporalmente a una zona más próxima a la herida, por ejemplo, una pierna o un brazo, dejando un pedúnculo, o puente de piel, a través del cual le lleguen los elementos nutritivos. Una vez que el injerto ha prendido, el pedúnculo puede ser cortado. En general es necesario un período de tres semanas para que el injerto crezca en su nuevo lugar.

Cirugía plástica del seno Una intervención de cirugía plástica muy frecuente es la mastectomía, en la cual es extirpado un seno portador de un tumor. Dado que los senos son importantes tanto para el aspecto físico como para el bienestar psicológico de una mujer, la mastectomía es una intervención que origina graves problemas. Hoy día, el cirujano sustituye con frecuencia el tejido extirpado por un tejido artificial, en general silicona, de modo que, finalizada la intervención y cuando el injerto cutáneo haya prendido, no se perciba casi ninguna evidencia de la mastectomía. La piel se toma generalmente de la parte inferior del seno.

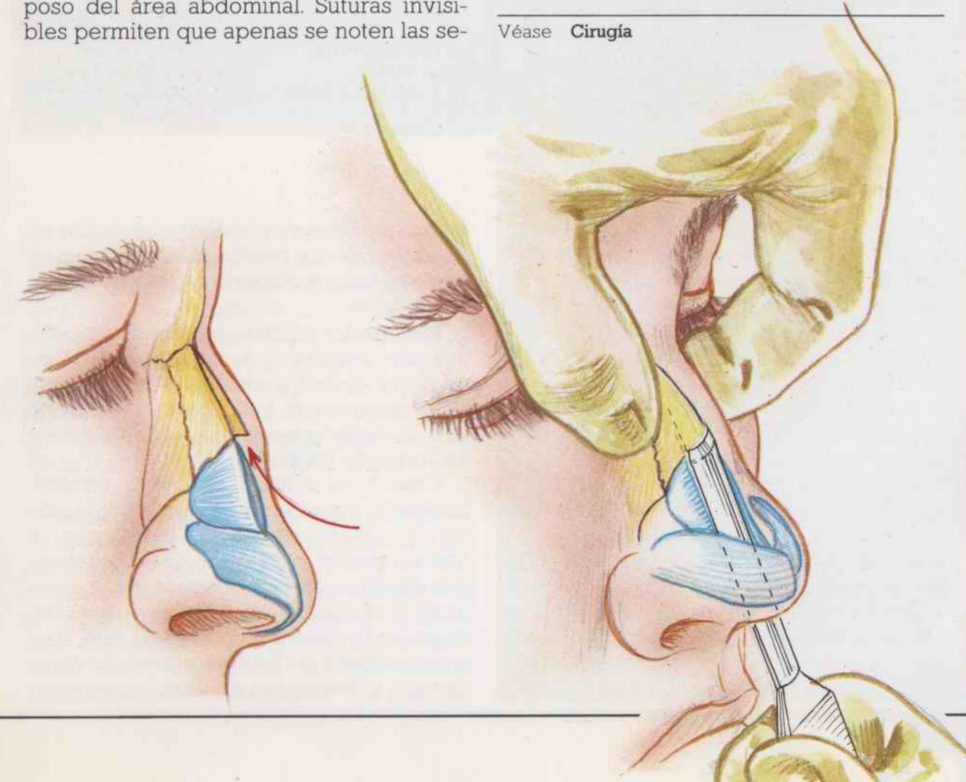
De manera similar, en el caso en que una mujer desee mejorar el aspecto del propio seno, que considera demasiado pequeño, el cirujano puede cortar la parte inferior del seno y trasplantar tejido adiposo del área abdominal. Suturas invisibles permiten que apenas se noten las señales de la intervención. Una operación de extirpación es posible para mujeres que padecen de hipertrofia mamaria (seno excesivamente desarrollado), de forma que se retira el exceso de tejido.

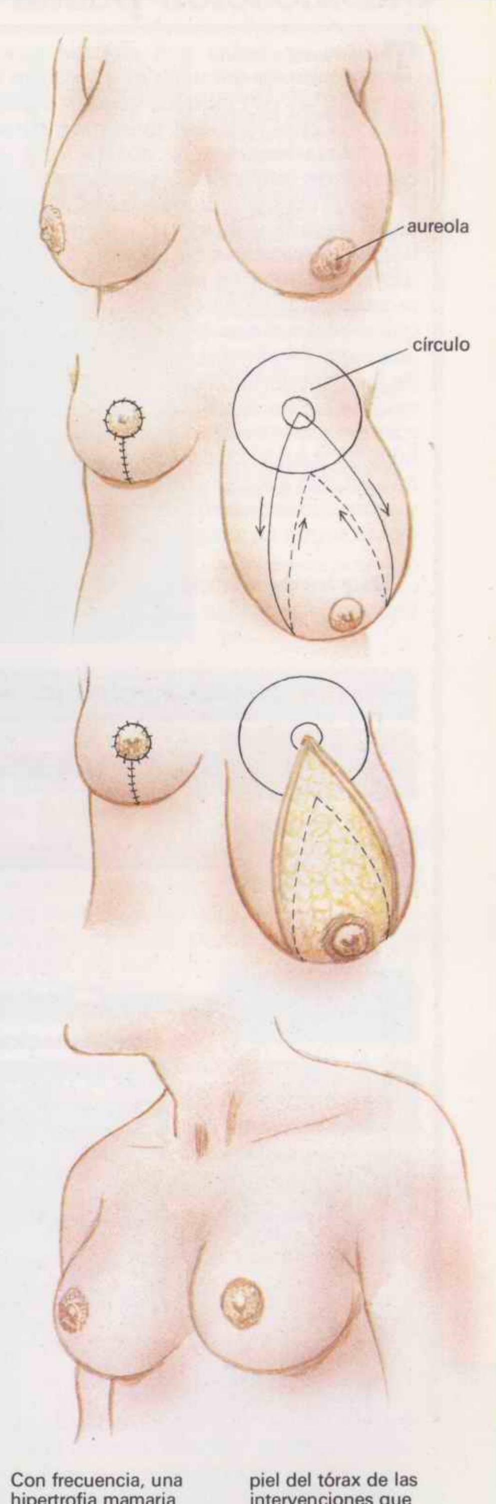
De miembro a miembro Otra técnica de trasplante es la transferencia de un injerto cutáneo de un miembro a otro. Si, por ejemplo, es necesaria nueva piel para cubrir una herida ulcerosa de la pierna derecha, puede cortarse un injerto cutáneo en la pierna izquierda y trasladarse para cubrir la herida presente en la pierna derecha. Las dos piernas unidas se mantienen inmóviles y el injerto puede crecer en su nueva sede y ser cortado completamente después de haber prendido.

Los años cincuenta señalan un período dramático en la historia de la cirugía plástica, con el fenómeno —acaecido en todo el mundo— de los "hijos de la talidomida", un tranquilizante que, administrado a mujeres en estado de gestación, provocaba graves deformidades en el recién nacido: los niños nacían con las manos no completamente desarrolladas, o totalmente privados de pies, manos o miembros completos. Intervenciones de cirugía plástica restituyeron a estos niños manos y pies funcionales y, con el advenimiento de la microcirugía, fue también posible sustituir los dedos deformados de las manos con los dedos de los pies.

El especialista en cirugía plástica puede ser también llamado para asistir a intervenciones de cirugía general donde sea necesaria su participación como especialista en un tema particular. Todo ello demuestra que actualmente la cirugía plástica está muy lejos de ser identificada, como había sucedido en épocas ya pasadas, con la cirugía estética, cuya función primaria era mantener bajo control los signos de la edad.

Véase **Cirugía**





Con frecuencia, una hipertrofia mamaria puede ser origen de graves complejos de inferioridad y de trastornos físicos de diversa índole. Con objeto de eliminar estos trastornos se han puesto a punto distintas intervenciones quirúrgicas. En el presente esquema se representa una de las operaciones más frecuentes. De arriba abajo: hipertrofia mamaria e indicaciones sobre la piel del tórax de las intervenciones que posteriormente serán realizadas por el cirujano. Con un compás se trazan las áreas (círculos) que abarcarán las nuevas mamas. Las otras líneas indican la zona en la que se separará la parte excedente de la mama.
A continuación se procede a la transposición de la aureola a su nuevo lugar y a la sutura definitiva.

Clasificación postal automática

Todas las cartas que circulan por el mundo se encuentran a lo largo de su recorrido con millares de cartas distintas. Para que toda esa marea de correspondencia llegue a su destino hay que clasificarla, subdividirla para su transporte a la dirección indicada (nación, provincia y ciudad), y distribuirla, carta por carta, a las direcciones correspondientes. Todas esas tareas se hacían, hasta tiempos recientes, de forma totalmente manual, lo que dilataba el tiempo necesario para que una carta llegara a su destino. El aumentc de las cantidades de correspondencia ha exigido la mecanización de las oficinas de correos para agilizar la clasificación del flujo de cartas. Distintos tipos de máquinas ayudan a los empleados a seleccionar el correo, a matasellarlo y a clasificar las cartas según su zona de distribución.

Máquina de selección Cuando los envíos postales llegan a un centro de clasificación, son llevados por medio de cintas transportadoras hasta un tambor giratorio cuyo interior está provisto de una serie de rendijas a través de las cuales las cartas caen en otra cinta en función de su tamaño. Los empleados recogen los paquetes y sobres que sobrepasan las medidas habituales, o que tienen formas irregulares, para proceder a su clasificación de forma manual.



A la izquierda, las consolas de mando y el cuadro sinóptico de un sistema de selección automático de correspondencia. Debajo, esquema del flujo de correspondencia en un centro primario. La correspondencia de distinta procedencia se envía a la zona de preparación, donde se selecciona y matasella. A continuación se codifica y se envía al centro de clasificación, donde se clasifica y empaqueta para la formación de sacas que se envían a los destinatarios a través de los distintos medios de comunicación.

Administración de Correos y Telecomunicaciones. Dirección Central de Servicios Postales.

FLUJO DE CORRESPONDENCIA EN UN CENTRO PRIMARIO

centros de primer orden
centros provinciales
grandes usuarios
oficinas en ciudad y provincia
entrega al correo
PREPARACION
selección de formatos
limpieza y separación
colocación y matasellado
CODIFICACION
SARD
no reconocidas
codificación manual
CLASIFICACION
selección previa
urgentes
extranjero
sin codificar
clasificación previa
etiquetado y empaquetamiento
clasificación final
FORMACION DE SACAS
clasificación de paquetes
PROCESOS MANUALES
objetos voluminosos
fuera de formato
cartas normales
urgentes
extranjero
sin codificar

Máquina matasellos Desde las máquinas de selección, las cartas ya clasificadas son conducidas sobre una cinta transportadora hasta las máquinas matasellos. Durante ese trayecto las cartas pasan bajo un explorador óptico que busca el sello, dando vueltas a la carta, si es preciso, mediante la acción de un dispositivo electromagnético. De esa manera los sobres quedan colocados en la cinta transportadora de forma que las esquinas que tienen los sellos estén siempre hacia el mismo lado. A continuación actúa el matasellos, que anula los sellos para que no se puedan reutilizar, estampando una marca en la que suele figurar la hora, la fecha y la ciudad en que se encuentra la oficina de correos.

Máquina de clasificación de cartas La clasificación manual del correo una vez matasellado necesita mucho tiempo. Los empleados utilizan en este caso una rejilla de selección con 40 ó 50 casillas para hacer la subdivisión de cartas dependiendo de la zona de destino. El número de 50 casillas representa el límite para tener una distribución cómoda al alcance de la mano, y poder memorizar la situación de cada una de las casillas. Como es lógico, la clasificación automática es más cómoda y rápida.

Para poder utilizar un proceso de clasificación mecánico, las administraciones de correos de diversos países han intentado caracterizar los lugares de destino con un código, que facilita la identificación estándar de las zonas.

Cuando se utiliza el código de encaminamiento, las máquinas clasificadoras de cartas pueden realizar su trabajo en un tiempo mucho menor. Las cajas de correspondencia se llevan, después del matasellado, a la máquina clasificadora y se colocan en la cinta transportadora que, bajo la supervisión de los operadores, lleva las cartas a la velocidad de una por segundo.

El operador introduce las cinco cifras del código de encaminamiento tecleándolas en el ordenador que controla el sistema, y la máquina dirige las cartas al receptor de selección adecuado. La correspondencia que no tiene código de encaminamiento se envía a un único contenedor para clasificarla manualmente.

Una vez que el correo se ha distribuido por medio del código de encaminamiento, se envía al centro de correos de la ciudad de destino o al más cercano, donde se somete a nueva selección en otra máquina. En esta ocasión los operadores introducen las dos últimas cifras del código de encaminamiento, que indican las oficinas de correos locales y sus sucursales, con lo que la máquina clasifica el correo en los contenedores para el reparto local.

Con frecuencia la respuesta del público a los intentos de poner en funcionamiento códigos postales es lenta, por lo que las administraciones de correos de algunos países están estudiando sistemas en los que un empleado imprima un código postal en las cartas a su llegada. Estos códigos se imprimen con tinta magnética o fosforescente, de forma que la máquina los pueda leer directamente con un sistema de sensores. Una vez impreso el código, las máquinas pueden realizar el resto de la clasificación a gran velocidad.



Junto a estas líneas, algunos operadores trabajando en el sistema automático de reconocimiento de direcciones (SARD). En la foto del centro, un banco para la preparación de la correspondencia. En esta fase se coloca la correspondencia para matasellarla automáticamente después de haber pasado por la selección. En la imagen de abajo, sala en la que se somete la correspondencia a limpieza, a elección y selección de tamaños antes de enviarla al matasellado.

Administración de Correos y Telecomunicaciones. Dirección Central de Servicios Postales, Italia.





Desarrollos futuros Cuanto mayor es el número de funciones que realizan las máquinas, mayor es la velocidad de funcionamiento del servicio de correos. La mejor máquina sería la que fuera capaz de leer directamente las direcciones y controlar en consecuencia las operaciones posteriores de clasificación. En muchos países los empleados de correos están probando máquinas capaces de leer las direcciones con lectores ópticos de caracteres. Los caracteres que se leen varían en los distintos países; algunos servicios postales funcionan con códigos numéricos, otros con códigos alfanuméricos y otros con los nombres de ciudades y regiones.

Se está estudiando también un codificador numérico de sonido, capaz de traducir los códigos pronunciados por el operador en instrucciones para una máquina de selección. Un sistema de este tipo eliminaría la necesidad de enseñar a los operadores el uso de los teclados de las máquinas, así como los problemas derivados de errores producidos al teclear el código.

Véase **Telégrafo**

Clima

Enunciar una definición exacta y completa del concepto de clima no es en modo alguno una tarea sencilla, razón por la cual ha sido objeto de discusión entre los estudiosos de la materia durante mucho tiempo.

Desde un punto de vista meteorológico, puede entenderse por clima de un lugar la totalidad de los fenómenos que caracterizan el estado medio de la atmósfera en ese lugar. Es pues un concepto estadístico muy útil para conocer, en un periodo de tiempo suficientemente largo, una serie de características del tiempo meteorológico en un lugar determinado sobre la superficie terrestre.

Elementos de un clima Para caracterizar el clima de un región resulta necesario un análisis de los elementos o variables meteorológicas durante un largo periodo de tiempo que generalmente es de 30 años. Conocida la evolución de la temperatura, las precipitaciones, la presión, etc. se elabora un *climograma* o gráfica en donde se representan los valores medios de estos elementos para cada mes del año. En el climograma pueden recogerse suficientes datos para dar una idea correcta de cual es el clima de un lugar.

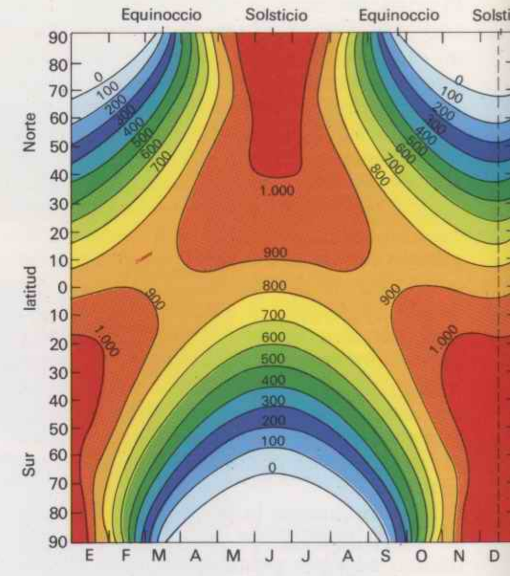
Los elementos meteorológicos que configuran un clima están determinados por factores geográficos y astronómicos. Las variaciones de temperatura existentes con la latitud son el resultado de diferencias de energía en forma de radiación solar recibida por la superficie del planeta. La forma esférica de la Tierra es la responsable de que los ángulos de incidencia de los rayos solares varíen fuertemente con la latitud, siendo perpendiculares a la superficie en las regiones cercanas al ecuador y disminuyendo hasta ser prácticamente tangentes en los polos. La energía por unidad de superficie recibida disminuye por tanto en la misma medida que disminuye el ángulo que forma el sol con el horizonte.

La existencia de estaciones tiene su origen en un factor astronómico. El eje de rotación de la Tierra mantiene una oblicuidad respecto al plano de la órbita circunsolar, de forma que sobre un mismo punto de la superficie la inclinación de los rayos varía a lo largo de una traslación de la Tierra alrededor del sol, es decir, un año. Por esta razón el hemisferio Norte recibe más calor durante los meses de junio-julio cuando la inclinación de los rayos es menor, coincidiendo con el invierno en el hemisferio Sur, y viceversa.

La superposición de estos dos efectos da lugar a diferencias en el calentamiento de la superficie que no sólo condiciona la temperatura de un lugar, sino que también actúa como motor para mantener, ayudado por la rotación terrestre, una circulación general de vientos, de corrientes marinas y un sistema de presiones que determinan en gran medida el clima de extensas regiones del planeta.

Los extremos de temperatura pueden ser extraordinariamente diferentes hasta el punto de impedir la vida en una región. Sus valores pueden oscilar entre los 60º alcanzados en el desierto del Sahara hasta -90º en el invierno antártico.

Además de los mencionados existen otros factores que influyen sobre los elementos climatológicos, como la altitud de un lugar, la proximidad o alejamiento de grandes masas de agua o la topografía de



La gran variedad de factores que determinan un clima hacen que éstos sean muchos y muy diferentes. El mapa (abajo) muestra una distribución de los distintos tipos de clima en todo el globo. El factor de mayor influencia es la insolación, es decir, la cantidad de energía que, a lo largo de un día, se recibe en la superficie de la Tierra. Su unidad de medida es el Langley (cal/cm^2 día). En el gráfico superior se representa la energía recibida en Langleys en cada latitud para todos los meses del año. A pesar de la mayor inclinación de los rayos solares a latitudes altas, en verano, el mayor número de horas de sol hace que la insolación sea mayor en estas regiones que en el Ecuador como se pone de manifiesto en la figura de la derecha (página siguiente), en donde se han representado la evolución de la insolación para latitudes de 50º (línea continua), 35º (línea de trazos) y en el Ecuador (línea de trazos cortos).

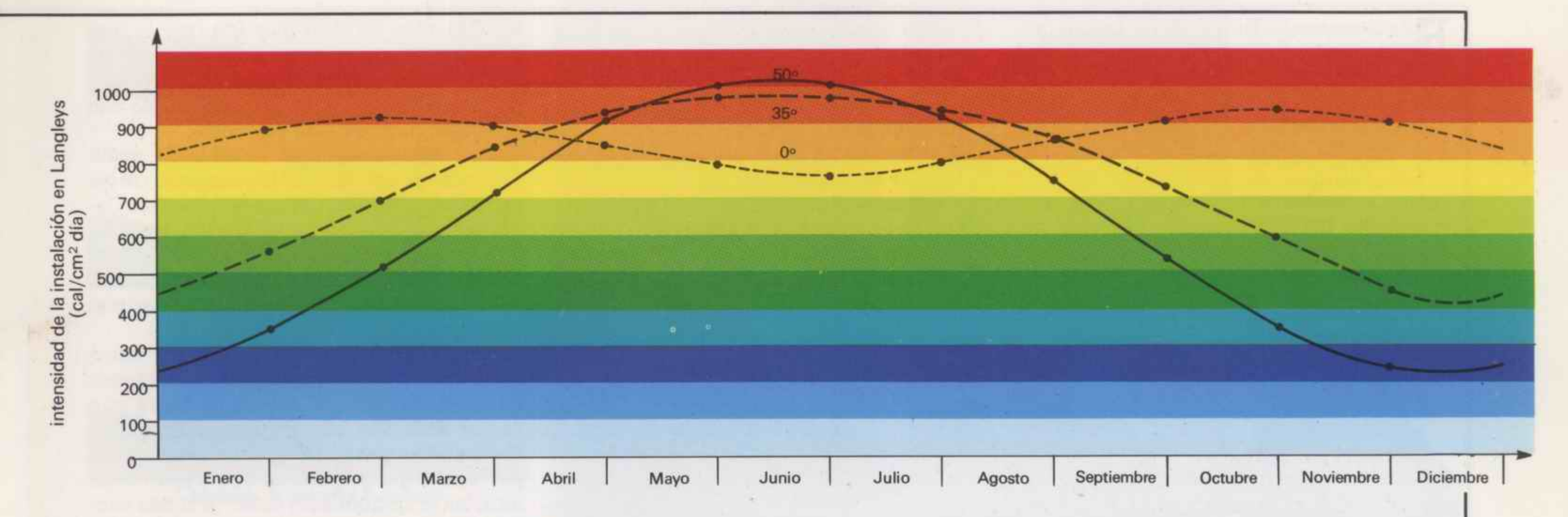
A = clima ecuatorial tropical lluvioso
AF = sin estación seca
AW = invierno seco

C = templado cálido lluvioso
CF = sin estación seca
CW = invierno seco
CS = verano seco

B = clima tropical seco
BS = semiárido
BW = árido y desértico

D = clima frío
DF = frío y húmedo
DW = frío, invierno seco

E = climas polares
ET = tundra
EF = hielos perpetuos



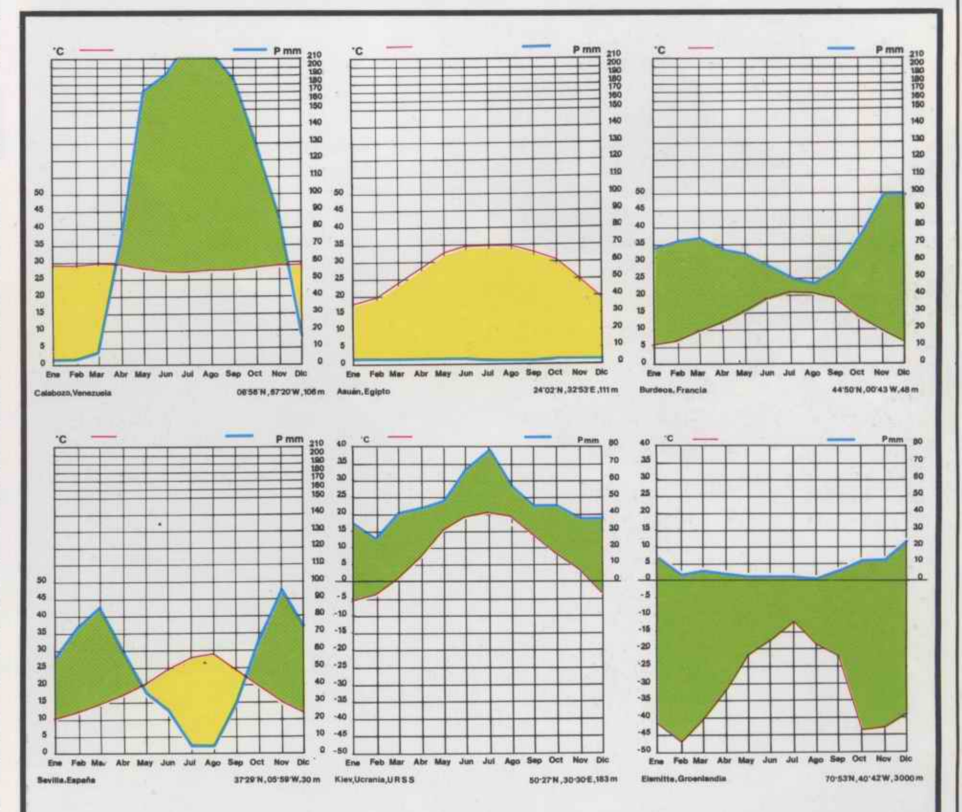
los alrededores que, aunque tienen un origen local, pueden llegar a tener una repercusión sobre el clima tan fuerte o mayor que el efecto de latitud.

Climas en el mundo Una clasificación general a gran escala de los distintos tipos de climas que aparecen en la Tierra puede hacerse atendiendo a un criterio de franjas de latitud. A latitudes bajas, en las regiones cercanas al ecuador, existe una convergencia de los alisios provenientes de ambos hemisferios que da lugar a ascendencias de aire y precipitaciones fuertes durante todo el año (clima *ecuatorial*). Por encima y por debajo, hasta 25° de latitud N y S, aparecen los climas *tropicales* y *monzónicos* con fuertes lluvias y periodos secos. Las temperaturas en los climas de bajas latitudes son elevadas con escasas variaciones a lo largo del año. No puede hablarse propiamente de la existencia de estaciones. A la altura de los trópicos existe una franja de altas presiones que impide la formación de nubes con aire encalmado y muy seco. El clima en estas regiones es *desértico*, con precipitaciones escasas o nulas, baja humedad ambiental y unas fuertes oscilaciones día-noche de la temperatura lo que dificulta la vida e impide el desarrollo de la vegetación.

A latitudes medias, alrededor de 40°, y generalmente en las costas oeste de los continentes, se encuentran los climas *mediterráneos*, con inviernos suaves y poco lluviosos y veranos secos y cálidos. Son climas de transición sometidos a esporádicas entradas de aire cálido, procedente de latitudes más bajas, y de aire polar.

A latitudes altas y hasta los círculos polares, en regiones influidas por vientos dominantes zonales, existen dos tipos de climas. El *oceánico*, con temperaturas moderadas por la influencia del mar, frescas en verano y suaves en invierno y con alto grado de humedad todo el año, y el *continental*, en donde ya no se deja sentir la suavización oceánica. Las temperaturas sufren grandes oscilaciones y la humedad y la precipitación disminuyen.

Finalmente, los climas *polares* se caracterizan por sus inviernos largos y fríos y por su escasa precipitación.



Los climogramas son gráficas de gran utilidad para conocer el tipo de clima de una localidad, y representan la evolución de temperaturas y precipitaciones a lo largo de un año. Los datos para cada mes son valores medios calculados para una serie que generalmente se toma de 30 años. En la figura se exponen algunos climogramas correspondientes a distintos tipos de clima. El trazo azul corresponde a la curva de precipitaciones (mm) y el rojo a la de las temperaturas. Cuando la curva de precipitaciones queda por debajo de la de temperaturas puede hablarse de clima seco, en caso contrario el clima es húmedo. La gran variedad de climas se visualiza comparando los distintos climogramas. Las fuertes precipitaciones del clima tropical (Calabozo) contrastan con la sequedad del clima desértico (Asuán), en donde apenas llueve. El clima oceánico (Burdeos) es húmedo con temperaturas suavizadas por la influencia del mar. El mediterráneo (Sevilla) se caracteriza por veranos secos y temperaturas cálidas. En el continental (Kiev) las precipitaciones son más moderadas pero distribuidas a lo largo de todo el año. Finalmente, el clima polar (Eismitte) es frío y con escasas precipitaciones.

Puesto que el clima ejerce una influencia profunda en nuestra vida, determinando la vegetación, los ciclos de crecimiento y los tipos de actividad que se pueden llevar a cabo, existe un gran interés ante la posibilidad de efectuar en el futuro predicciones climáticas. Las previsiones a corto plazo (a no más de cinco años de distancia), basadas en los datos tomados en los diez o veinte años precedentes, están comenzando a hacerse realidad. Sin embargo, la dificultad en el conocimiento de las numerosas variables que intervienen en los modelos matemáticos utilizados hacen que todavía los resultados, aunque optimistas, sean bastante imprecisos.

Véase **Climas del pasado**

Climas del pasado

El clima de la Tierra no ha sido siempre como lo conocemos hoy día. Numerosos testimonios del pasado nos indican que la temperatura media de nuestro planeta ha sufrido importantes variaciones a lo largo de su historia.

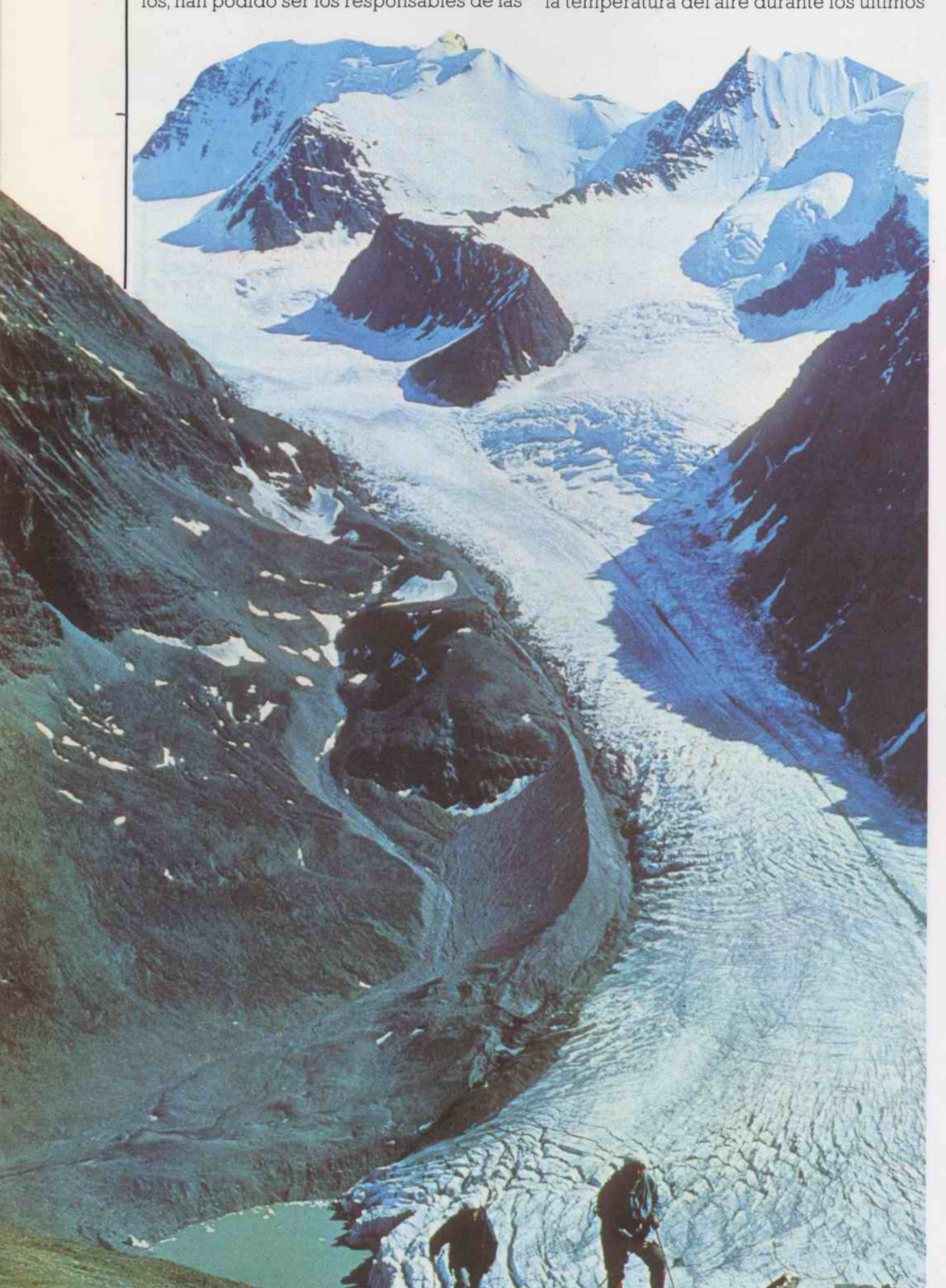
Los cambios climáticos pueden atribuirse a muchas y muy variadas razones. Entre ellas, los desplazamientos de las masas continentales, que en algunas etapas estaban agrupadas alrededor de los polos, han podido ser los responsables de las grandes glaciaciones acaecidas desde el Precámbrico (hace 600 millones de años) hasta la aparición de los primeros homínidos en el Pleistoceno inferior, hace aproximadamente 1 millón de años cuando la configuración de los continentes era ya similar a la actual.

Utilizando la técnica de medida de isótopos del oxígeno con espectrómetro de masas en muestras de hielo a distintas profundidades, ha podido conocerse que la temperatura del aire durante los últimos 900.000 años ha sido más fría que la que disfrutamos en nuestros días. Tan sólo dos pequeños periodos interglaciales, situados hace 300.000 y 100.000 años, junto con el actual, rompen esta cadencia.

Procedimientos más exactos de análisis, como el estudio del crecimiento de los anillos anuales de troncos en pinos de California con edades de 4.000 años, han permitido descubrir que las variaciones de temperatura y por tanto los cambios climáticos se han mantenido hasta nuestros días.

Entre las posibles razones de estos cambios cabe mencionar las variaciones en la orientación del eje de la Tierra que llevan asociada una distinta distribución de la energía recibida en la superficie. En periodos con una intensa actividad volcánica, las erupciones inyectan grandes cantidades de polvo en las altas regiones de la atmósfera que sirven de pantalla a la radiación solar y enfrían la superficie, hechos éstos comprobados con la explosión del Krakatoa en 1883 y recientemente en observación directa de las erupciones del Mount Helen (USA) y El Chichón (Mexico).

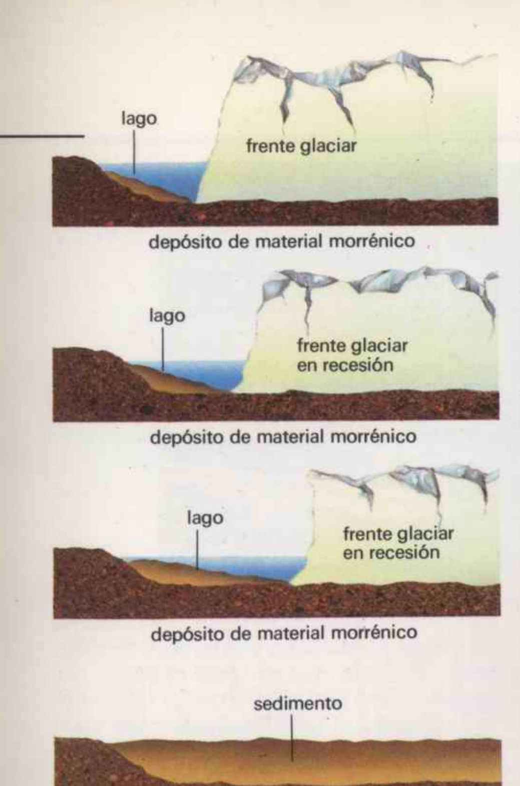
Las variaciones encontradas en los últimos años por los satélites de observación solar en la emisión de energía suministrada por el Sol, aunque pequeñas, también pueden influir en los cambios observados en el clima.



El clima desde el origen del hombre La aparición del *Homo sapiens sapiens* u hombre actual se sitúa en la época de la última glaciación del periodo cuaternario (periodo de Würm) hace aproximadamente 50.000 años. En esa época el clima estaba condicionado por la presencia de grandes glaciares concentrados sobre todo en Norteamérica, en los Alpes, en Escandinavia y en los océanos. Hace unos 20.000 años, los hielos comenzaron a retroceder hasta quedar constreñidos a Groenlandia y la Antártida, tal y como lo conocemos hoy, cubriendo una décima parte de la superficie terrestre.

Con la fusión de los hielos dio comienzo una época dominada por las lluvias y se formaron grandes mares en Norteamérica y en Africa oriental. La alternancia de climas soleados y lluviosos fue la característica de la era postglacial, como lo ha demostrado un detenido estudio del material vegetal encontrado en turberas, que manifiesta periodos de intenso desarrollo. La época atlántica, hace 7.000 años, fue el periodo más cálido de la época interglacial, en la que nos encontramos, y coincidió con lluvias abundantes. Los casquetes polares se redujeron y el nivel del mar llegó a ser unos 3 metros superior al que existe hoy día.

Desde entonces sólo han existido dos periodos fríos, localizados el primero hace 2.500 años y el segundo entre los siglos XV y XVIII de nuestra era, conocido éste como *pequeño periodo glacial*. Numerosos documentos escritos y grabados de la época nos presentan los inviernos europeos como muy rigurosos, con ríos he-








En los cuatro dibujos de la izquierda puede verse en sección cuatro fases de un glaciar en retroceso dejando una cuenca excavada por el mismo que se cubre de agua, formando así un pequeño lago. Durante el retroceso, el material procedente de la morrena del glaciar es englobado en la masa de hielo y posteriormente depositado en el fondo del lago. A partir del estudio de estos materiales es posible conocer la historia del glaciar.

Los granos de polen, fotografiados a la izquierda, se conservan con facilidad en las rocas sedimentarias. Su análisis permite identificar su época y las plantas de las que proceden, pudiéndose así reconstruir los paleoclimas.

lados y las tierras cubiertas de nieve durante meses. Los glaciares avanzaron en Escandinavia, en la cadena alpina y en Islandia. A partir de 1900 las temperaturas han ido lentamente aumentando de nuevo hasta mediados de nuestro siglo, pero en proporciones modestas (0,5 °C en todo el periodo). En los últimos años una tendencia decreciente hace pensar que podríamos estar volviendo a una época de fríos similar a la sufrida hace dos siglos.

El clima en el futuro Los climatólogos aún no están en condiciones de proporcionarnos una contestación fiable a la pregunta de cuál será el clima en el futuro. A la gran cantidad de variables naturales que intervienen hay que añadir nuevos parámetros generados por las actividades humanas. Miles de toneladas de productos químicos son lanzados a la atmósfera cada año. Muchos de ellos con una vida media lo suficientemente larga como para provocar reacciones con constituyentes atmosféricos desplazando el equilibrio químico. Se ha comprobado que los halógenos liberados a partir de emisiones de freón (fundamentalmente el cloro) ascienden a la estratosfera combinándose con el ozono y destruyéndolo. Una apreciable reducción en el ozono total conllevaría aumentos de temperatura en la superficie con las consiguientes repercusiones climáticas. Además, la combustión de combustibles fósiles está provocando un fuerte aumento del dióxido de carbono en la atmósfera. Según los expertos, el CO_2 actúa como un aislante, evitando que el calor terrestre escape y aumentando, por tanto, la temperatura de las capas bajas atmosféricas. De otro lado, el polvo liberado en las mismas combustiones actúa como escudo para las radiaciones solares, impidiendo su llegada a la Tierra y provocando un efecto de enfriamiento contrario a los anteriores.

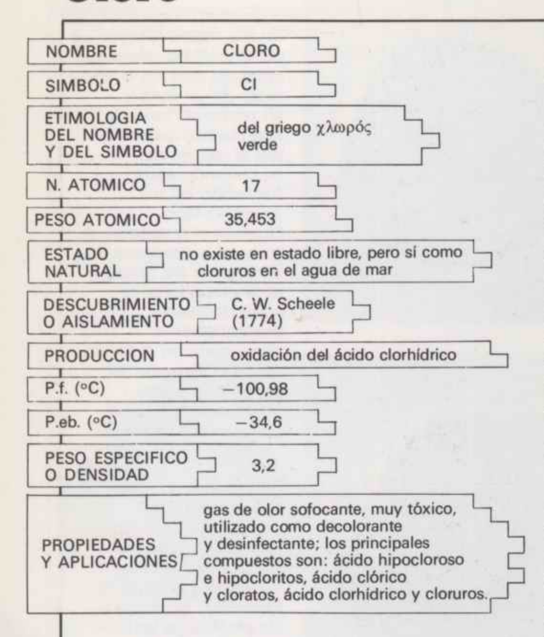
La conjunción de éstos y otros muchos efectos sin duda están contribuyendo de forma notoria a alteraciones en el clima. Quizás dentro de algunos años podamos evaluar e incluso controlar la emisión de contaminantes y obtener modelos que nos permitan prever el clima de una manera precisa.

En la página de al lado, un glaciar alpino que da testimonio de una pequeña variación del clima en estos últimos siglos. En la fotografía puede verse la morrena lateral, que evidentemente acogía a una lengua glaciar bastante mayor hace relativamente poco tiempo: en efecto, se sabe que a finales del siglo XVIII los glaciares se extendieron, constituyéndose morrenas más grandes que las actuales. Debido al período histórico en que esto tuvo lugar, se las denominó "morrenas napoleónicas". No obstante, la extensión que ocupa en el valle el glaciar actual es mucho menor que la que ocupaba hace decenas o cientos de miles de años en que abarcaba prácticamente todo el valle. A la derecha de estas líneas, tabla con la historia de las glaciaciones, que se remontan hasta hace seiscientos millones de años. Tres grandes eras glaciales han precedido a la última y más reciente, en que tuvo lugar la aparición del hombre. Con ellas han alternado períodos interglaciaciones, que fueron incluso tórridos, y que durante mucho tiempo dejaron grandes áreas de la Tierra cubiertas de desiertos.

LOS CLIMAS DEL PASADO

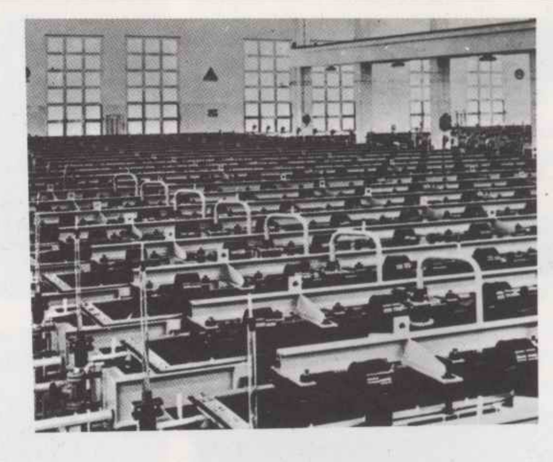
Edad (millones de años)	ERAS	PERIODOS	continentes cubiertos por mar (millones de kilometros)	principales glaciaciones
	Cenozoico	Mioceno		glaciación cuaternaria
	Cenozoico	Oligoceno		
50	Cenozoico	Eoceno		
	Cenozoico	Paleoceno		
100	Mesozoico	Cretácico		
150	Mesozoico	Jurásico		
200	Mesozoico	Triásico		
250	Paleozoico	Pérmico		glaciación permocarbonífera
300	Paleozoico	Carbonífero		
	Paleozoico	Devónico		
400	Paleozoico	Silúrico		
	Paleozoico	Ordovícico		glaciación del Ordovícico superior
500	Paleozoico	Cámbrico		
600		Precámbrico		glaciación eocambriana

Cloro



NOMBRE	CLORO
SIMBOLO	Cl
ETIMOLOGIA DEL NOMBRE Y DEL SIMBOLO	del griego χλωρός verde
N. ATOMICO	17
PESO ATOMICO	35,453
ESTADO NATURAL	no existe en estado libre, pero sí como cloruros en el agua de mar
DESCUBRIMIENTO O AISLAMIENTO	C. W. Scheele (1774)
PRODUCCION	oxidación del ácido clorhídrico
P.f. (°C)	−100,98
P.eb. (°C)	−34,6
PESO ESPECIFICO O DENSIDAD	3,2
PROPIEDADES Y APLICACIONES	gas de olor sofocante, muy tóxico, utilizado como decolorante y desinfectante; los principales compuestos son: ácido hipocloroso e hipocloritos, ácido clórico y cloratos, ácido clorhídrico y cloruros.

El cloro se obtiene por electrólisis del cloruro de sodio en solución. Debido al paso de la corriente eléctrica, el cloruro de sodio se descompone en cloro gaseoso, que se libera en el ánodo, y en sodio, que se deposita en el cátodo (formando una amalgama con el mercurio, en el caso de que el cátodo sea de mercurio, o formando directamente sosa cáustica por reacción con el agua). En la fotografía de al lado, celdas electrolíticas con cátodos de mercurio.



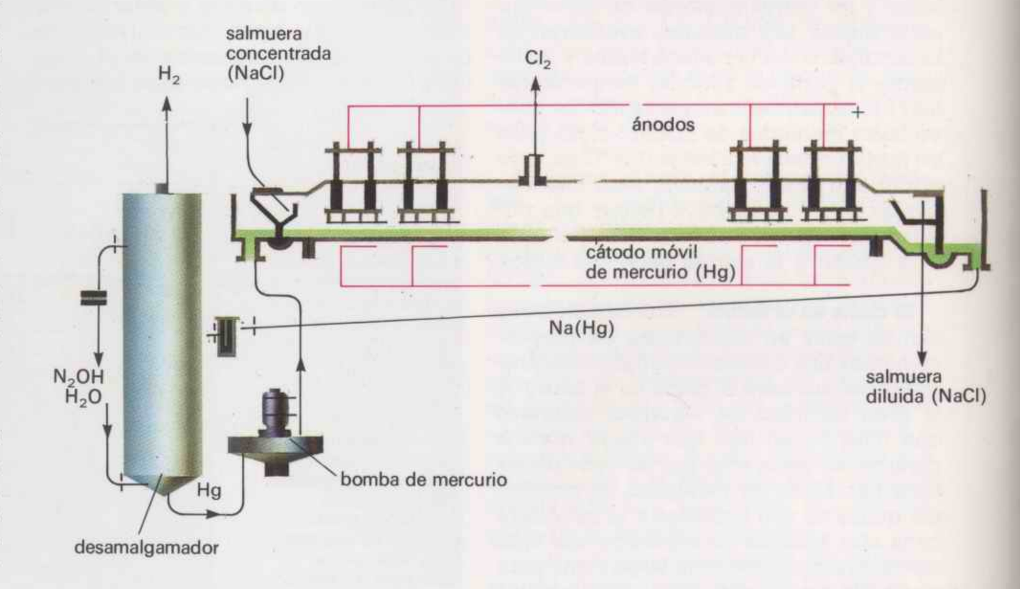
El cloro es un elemento notablemente activo. En determinadas condiciones se combina con la plata y el oro, elementos que en general no se combinan con otros. En estado natural el cloro es un gas verde-amarillo, venenoso y corrosivo. Combinado con otros elementos, como en el caso del cloruro de sodio (la sal común de cocina), es, sin embargo, uno de los productos más comunes e inofensivos. Su actividad química ha sido aprovechada de muchas maneras.

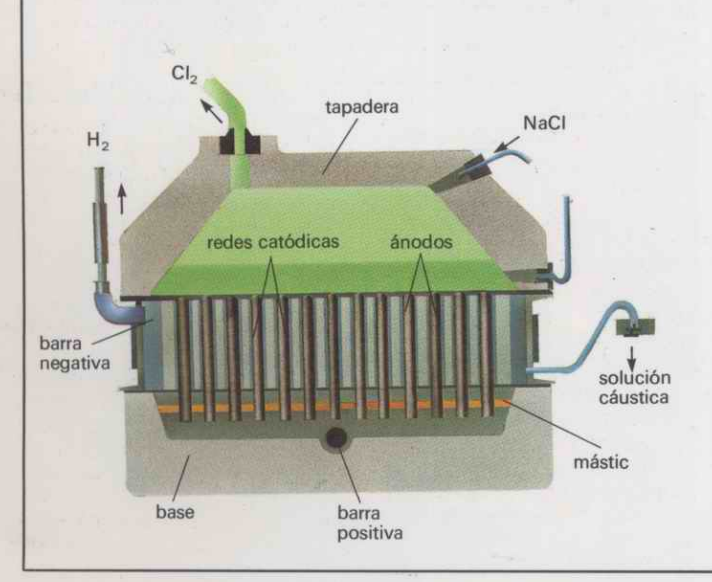
El cloro ha sido el primer elemento utilizado como desinfectante en el tratamiento de aguas a gran escala. Su actividad química lo hace útil como agente decolorante y en determinados procesos químicos de refino.

Actividad química Un elemento es químicamente activo o inactivo en función de su estructura atómica y de cómo estén dispuestos los electrones de sus átomos alrededor del núcleo. Los electrones que rodean el núcleo son agrupados en unidades llamadas *niveles*. Existe un número limitado de niveles, y el número máximo de electrones que pueden estar en cada uno de ellos puede variar de un nivel a otro. Además, los electrones llenan estos niveles siguiendo una secuencia determinada. El primer nivel, el más interior, para estar saturado de electrones tiene que contener dos, el segundo ocho y el tercero también ocho, siempre que no esté rodeado por otros niveles. Si el nivel exterior de un átomo contiene el máximo número de electrones, está saturado y el elemento es químicamente inactivo. Si el nivel electrónico exterior de un átomo necesita pocos electrones para saturarse, puede ligarse con el nivel exterior de otro átomo, adquiriendo de éste los electrones que le faltan para saturarse.

Cuanto menor sea el número de electrones que un nivel tiene que adquirir para saturarse, mayor es la tendencia de este nivel a enlazarse con otro átomo y más activo es entonces el elemento al cual pertenece dicho nivel electrónico. Un átomo de cloro no enlazado tiene 17 electrones y necesita solamente un electrón adicional para saturar el nivel electrónico exterior: esto explica la elevada actividad química de dicho elemento.

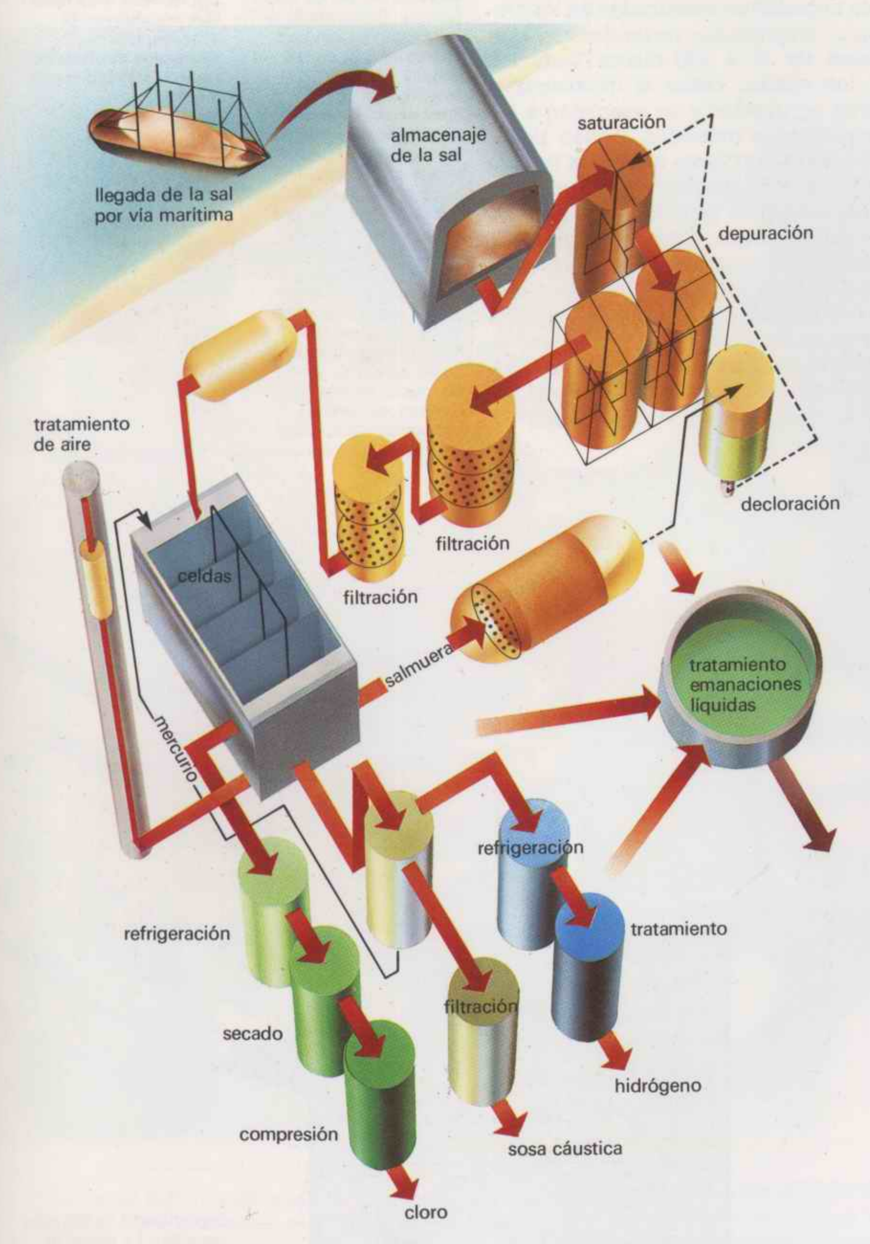
Usos industriales del cloro La elevada actividad del cloro es utilizada de muchas maneras, particularmente en los procesos de refino químico, como agente de blanqueado en las industrias del papel y





Arriba, esquema de una celda electrolítica con cátodo de mercurio para la producción de cloro y sosa cáustica. El mercurio constituye el cátodo móvil de la celda: el sodio que se deposita en él forma con el mercurio una amalgama que es introducida en un desamalgamador, en el cual se forma sosa cáustica y se separa el mercurio. El cloro se libera en el ánodo. En otra versión del proceso electrolítico se emplean celdas llamadas de diafragma, compuestas por cátodos de red metálica y ánodos de grafito: en este caso en el cátodo se libera hidrógeno por reacción del sodio con el agua.

ESQUEMA SIMPLIFICADO DEL CICLO DE PRODUCCION CLORURO-SOSA



PRODUCCION MUNDIAL DE CLORO	
AÑOS	TONELADAS
1910	110 millares
1950	3,1 millones
1960	8,4 millones
1970	21 millones
1975	25 millones

La producción industrial del cloro está estrechamente ligada a la de la sosa cáustica, ya que la materia prima es el cloruro de sodio que se extrae del agua de mar. En el esquema de al lado, una planta para la obtención de cloro (además de sosa cáustica e hidrógeno). La planta se compone esencialmente de: un circuito en ciclo cerrado de salmuera (solución de sal); una serie de celdas de mercurio en las cuales se verifica la electrólisis; circuitos de tratamiento de los tres productos (cloro, sosa cáustica e hidrógeno) antes de su utilización final; una planta para el tratamiento de las emanaciones líquidas y otra para el tratamiento de las emanaciones gaseosas.

textil y como desinfectante. El cloro es tan activo que "desaloja" literalmente otros átomos de sus posiciones en las moléculas, ocupando su lugar.

Esta capacidad del cloro de desplazar otros átomos es utilizada en los procesos de blanqueado. El cloro no actúa directamente sobre el tejido, más bien provoca la formación de oxígeno libre que es el que actúa como agente decolorante. De la misma manera que los átomos de cloro sustituyen a los átomos de bromo en el bromuro de sodio, también sustituyen a los átomos de oxígeno en las moléculas de agua, provocando la formación de oxígeno puro. Este oxígeno se combina con el colorante, que desaparece por oxidación. El colorante destruido de tal manera se separa del tejido.

Los gérmenes también son atacados por el oxígeno puro. Con un proceso parecido al del blanqueado, se hace reaccionar el cloro con el agua para producir oxígeno, que destruye los gérmenes. La utilización del cloro para tratar las aguas de uso doméstico se inició a finales del siglo pasado y fue un factor importante en la drástica reducción de las enfermedades tifoideas, causadas por gérmenes que se desarrollan en ambiente acuoso.

La producción mundial de cloro A causa de su elevada actividad química, el cloro no existe libre en la naturaleza, aunque se encuentra en muchos compuestos, el más conocido de los cuales es el cloruro de sodio o sal común. Esta sal representa con diferencia la fuente más abundante de cloro utilizada por la industria. El agua de los océanos contiene cerca de un 3% de cloruro de sodio; la sal se extrae también de los lechos marinos desecados. El cloro se extrae del cloruro de sodio por medio de un proceso electrolítico.

La electrólisis es un método de separación de compuestos químicos mediante el paso de una corriente eléctrica a través de una solución. Se basa en el principio de que ciertas sustancias se ionizan cuando se disuelven en determinados líquidos. Normalmente un átomo no posee ninguna carga eléctrica, ya que contiene un número igual de electrones (con carga eléctrica negativa) y de protones (con carga eléctrica positiva), cuyos efectos se neutralizan entre sí. Pero cuando, por ejemplo, el cloruro de sodio se disuelve en agua, una parte de las moléculas del compuesto se divide en átomos de sodio y de cloro. Cada uno de los átomos de sodio pierde un electrón, mientras que cada átomo de cloro adquiere uno. De esta manera se rompe el equilibrio de las cargas de cada uno de los átomos, que poseen ahora una carga eléctrica y se denominan "iones". Los átomos de cloro con un electrón de más están cargados negativamente, mientras que los átomos de sodio que han perdido un electrón están cargados positivamente.

La electrólisis utiliza precisamente estas características de la solución. Dos barras de carbono, llamadas electrodos, son sumergidas en la solución y conectadas con una fuente de energía eléctrica, de tal manera que un electrodo se cargue positivamente y el otro negativamente. Los átomos positivos de sodio son atraídos por el electrodo negativo, mientras que los átomos negativos del cloro, atraídos por el electrodo positivo, se concentran en las proximidades del mismo, donde finalmente se liberan de la solución. Casi todo el cloro producido industrialmente se obtiene con este método electrolítico.

Véase **Bromo y yodo; Detergentes; Electrólisis; Sal común**

Clorofila

La clorofila es la sustancia capaz de captar energía de la luz solar y transformarla a través del proceso de la fotosíntesis, permitiendo a los seres vivos que la poseen (principalmente integrados en el Reino Vegetal) la síntesis de carbohidratos a partir del dióxido de carbono (CO_2) existente en la atmósfera o disuelto en las aguas.

La luz absorbida por la clorofila y empleada en la fotosíntesis corresponde principalmente a las longitudes de onda de los colores rojo y azul-violeta del espectro de absorción; la banda verde no es absorbida, sino reflejada en su totalidad. Es por esa razón por la que la mayoría de las plantas tienen el color verde característico.

Tipos de clorofila Desde el punto de vista químico, la clorofila tiene una constitución similar a la de la hemoglobina de la sangre, si bien el ion metálico que posee en su estructura es, en vez del hierro (Fe), el magnesio (Mg).

Existen varios tipos de clorofila, que se diferencian sólo por ligeras variaciones de los radicales químicos enlazados al anillo central porfirínico que contiene el átomo de magnesio (Mg).

Las clorofilas *a* y *b* son las que aparecen en la mayor parte de las plantas superiores y en las algas verdes, mientras que las demás algas contienen clorofila del tipo *a* combinada con las de los tipos *c* o *d*.

Tanto el tipo *a* como el *b* contienen carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y magnesio, diferenciándose únicamente porque el tipo *b* tiene un átomo de oxígeno en vez de dos átomos de hidrógeno. Otro tipo de clorofila, llamado *e*, es bastante raro y se ha encontrado en las algas crisofíceas.

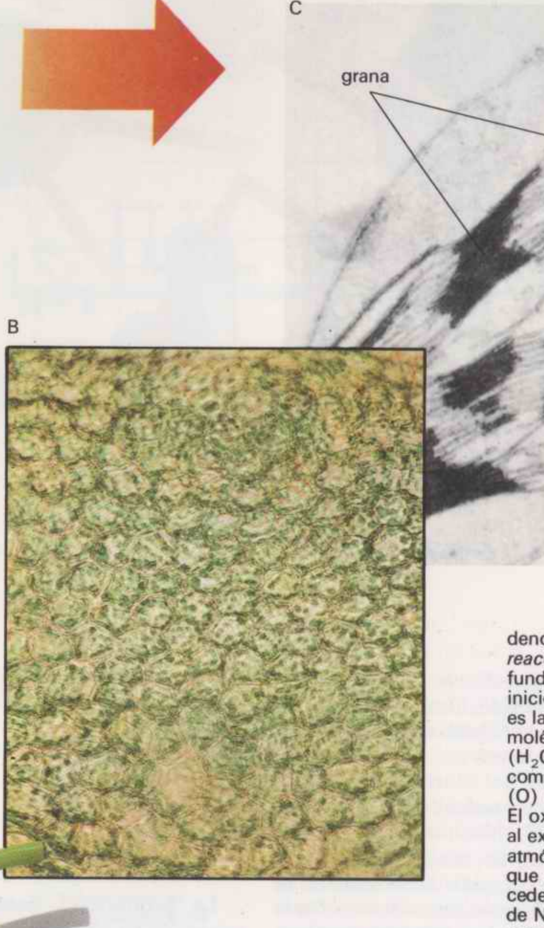
La composición química exacta de la clorofila fue definida en el año 1960 por R. B. Woodward y sus colaboradores.

Estructura y función de la clorofila En las células vegetales las moléculas de clorofila se encuentran encerradas en los *cloroplastos*, corpúsculos redondeados que contienen de 10 a 100 discos llamados *grana*, los cuales, vistos al microscopio, aparecen agrupados y se asemejan a pilas de pequeñas monedas. Tienen la capacidad de utilizar hasta el 30% de toda la energía luminosa absorbida.

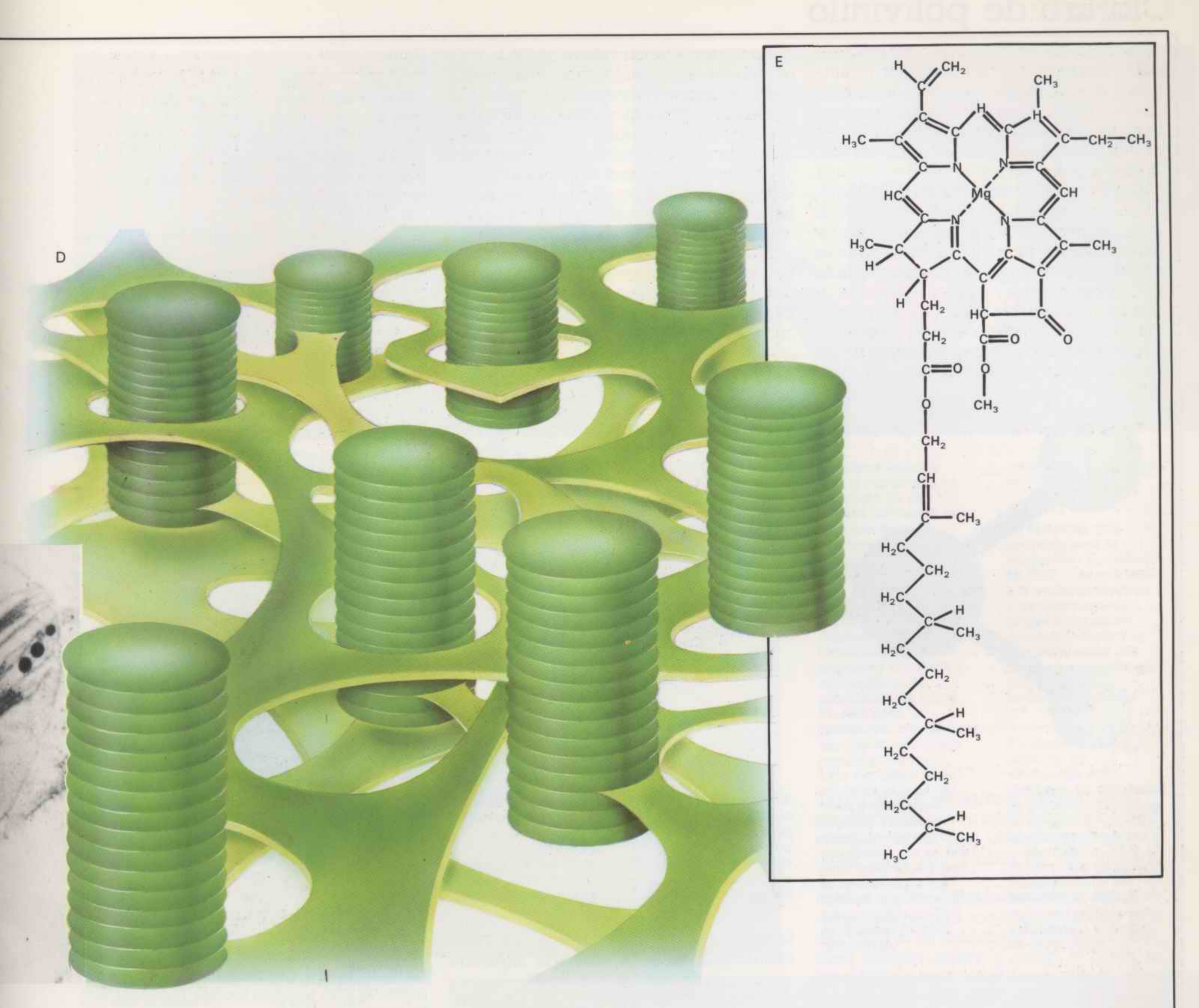
Los tres factores principales que influyen en las reacciones fotosintéticas son: la cantidad de luz absorbida, la temperatura y la cantidad de dióxido de carbono disponible. También son necesarios agua y minerales en las proporciones adecuadas. Además, al estudiar la fotosíntesis, hay que tener siempre presente la especie de planta de que se trate, su vitalidad y su edad.

El pigmento clorofílico se encuentra en los órganos verdes de las plantas. Observando al microscopio una hoja (A) se ve que en las células que la constituyen (B) aparecen pequeños corpúsculos verdes: los cloroplastos. Estos, vistos con mayor aumento (C), están formados por una fina cubierta y por zonas oscuras llamadas grana, unidas por láminas claras. Cada célula vegetal de color verde contiene numerosas estructuras como ésta. Los grana (D) están formados por un gran número de elementos discoidales, colocados uno encima de otro. Se mantienen fijos unidos entre sí por láminas muy finas que constituyen el estroma. Los elementos discoidales están constituidos por moléculas de clorofila (E).





La estructura química de la clorofila (E) consiste en un anillo que en el centro presenta un átomo de magnesio (Mg) y una "cola" constituida por átomos de carbono (C) e hidrógeno (H) enlazados. Los discos que forman los granos están constituidos por estos anillos unidos uno a otro mediante la "cola". La unidad de estas estructuras es fundamental para que pueda llevarse a cabo la fotosíntesis. La luz que incide sobre la clorofila constituye la señal de partida para una compleja serie de reacciones químicas que se producen en un punto del grana denominado *centro de reacción*. La reacción fundamental que da inicio a la fotosíntesis es la "escisión" de la molécula de agua (H_2O) en sus dos componentes oxígeno (O) e hidrógeno (H). El oxígeno es liberado al exterior y pasa a la atmósfera, mientras que el hidrógeno se cede a la molécula de NADP, que pasa a su forma reducida NADPH. Seguidamente, a partir de ésta, se sintetizan glucosa y ácidos orgánicos al producirse la reducción química del dióxido de carbono (CO_2) por el hidrógeno procedente del NADPH, que pasa de nuevo a NADP. Este proceso se repite cíclicamente de forma indefinida.



La luz, al incidir sobre las moléculas de clorofila, hace aumentar el nivel de energía de algunos electrones. Estos son posteriormente liberados y transferidos a otras moléculas, retornando finalmente a la molécula de clorofila de la que partieron. Estos procesos se denominan *fase lumínica* de la fotosíntesis, y la energía liberada en las transferencias de electrones se utiliza para "cargar" las moléculas de adenosindifosfato (ADP), que se transforma en adenosintrifosfato (ATP), acumulando, así, en forma de energía química una parte de la energía solar captada por la clorofila.

Los cloroplastos tienen también otra función: la de reducir el compuesto denominado NADP a NADPH. Este producto, dador de hidrógeno, representa una importante reserva de energía utilizable en muy numerosas e importantes funciones metabólicas.

Esta primera fase de la fotosíntesis va encadenada con una segunda que denominamos *fase oscura*, ya que sus reacciones no dependen de la luz sino de la energía química acumulada en la fase lumínica. Mediante ella se produce la fijación del CO_2 y su transformación en ácidos orgánicos y carbohidratos.

Importancia de la clorofila y de la fotosíntesis Para comprender la importancia de la clorofila, es necesario tener presente que sin la fotosíntesis la atmósfera terrestre estaría privada de oxígeno y, además, sin la fotosíntesis de los vegetales la mayor parte de los seres vivos de la Tierra desaparecería en un plazo de pocos años por falta de alimento disponible.

En las plantas, como ya hemos visto, la clorofila absorbe la energía lumínica, indispensable para la vida y el crecimiento vegetales. En determinadas eras geológicas pasadas, hace muchos millones de años, había sobre la tierra muchas más plantas que en la actualidad: se desarrollaron en un clima cálido y muy rico en dióxido de carbono. Los restos parcialmente transformados de aquellas plantas formaron, en las zonas pantanosas donde crecían profusamente, los yacimientos de carbón. Análogamente, los restos de seres vivos vegetales y animales, acumulados en el fondo de mares cerrados, dieron origen al petróleo y al gas natural. Actualmente, los combustibles fósiles restituyen la energía solar que fue captada por los vegetales en épocas pretéritas de la historia de nuestro planeta.

Dado que las necesidades alimentarias crecen constantemente a causa del aumento demográfico, el proceso fotosintético es actualmente más importante que nunca. Se están haciendo intentos de transformación de bastantes productos fotosintéticos en alimentos útiles y, si la demanda continúa en aumento, las investigaciones sobre ese tipo alternativo de alimentos se centrarían en la transformación de los más fácilmente asequibles.

Véase **Fotosíntesis; Hoja; Plantas**

Cloruro de polivinilo

Discos de cloruro de polivinilo giran bajo la aguja de los equipos estéreos reproduciendo las canciones que están grabadas sobre sus caras. Tubos flexibles de cloruro de polivinilo recorren los jardines y huertos llevando el agua para regar el césped o los tomates. Impermeables y paraguas de cloruro de polivinilo nos protegen de las lluvias; tuberías de cloruro de polivinilo instaladas en las paredes o bajo el suelo de las estancias, transportan el agua a las instalaciones de fontanería o descargan la procedente de ellas. Estos son sólo algunos ejemplos de las variadas aplicaciones del cloruro de polivinilo (un polímero sintético) en la vida moderna.

Los productos elarorados con dicho polímero son resistentes a la acción del agua y además son fuertes y de larga duración presentando así mismo una gran resistencia.

Todas esas características ya habían sido descubiertas hace tiempo en numerosas sustancias existentes en la Naturaleza como la goma y varias resinas, pero hubo que esperar hasta el siglo XX para que los químicos llegaran a comprender que estas propiedades eran comunes a todos los polímeros.

Polímeros y polimerización El cloruro de polivinilo es un tipo específico de polímero. El término polímero deriva del griego "mucho" (*polys*) y "unidad" (*meros*): por lo tanto, cloruro de polivinilo (genealmente abreviado como PVC) significa muchos cloruros de vinilo. En la reacción de polimerización del cloruro de vinilo (molécula constituida por átomos de carbono, hidrógeno y cloro), las moléculas de este compuesto, por acción de un iniciador de polimerización, se unen entre sí formando grandes moléculas (macromoléculas) que son, en su composición, múltiplos de las moléculas de cloruro de vinilo.

El ciclo de preparación del PVC parte de los hidrocarburos obtenidos del petróleo o del gas natural. En particular, se utiliza como hidrocarburo base el etileno que, hecho reaccionar con el cloro, se transforma a través de una serie de reacciones en cloruro de vinilo. El resultado formal de estas transformaciones viene esquematizado en la "reacción" siguiente:

$$H_2C{=}CH_2 + Cl \rightarrow H + H_2C{=}CHCl$$

etileno — cloro — cloruro de vinilo

Polimerizando el cloruro de vinilo se obtiene, como ya se ha visto, el PVC que está constituido por largas cadenas de moléculas, caracterizadas por la gran flexibilidad que presentan los enlaces químicos existentes entre los átomos que forman dichas moléculas. Como cada uno de los átomos puede rotar libremente alrededor de los enlaces que los une a los otros átomos de la molécula polímera, los materiales obtenidos de dicho polímero se pueden convertir prácticamente en cualquier forma deseada.

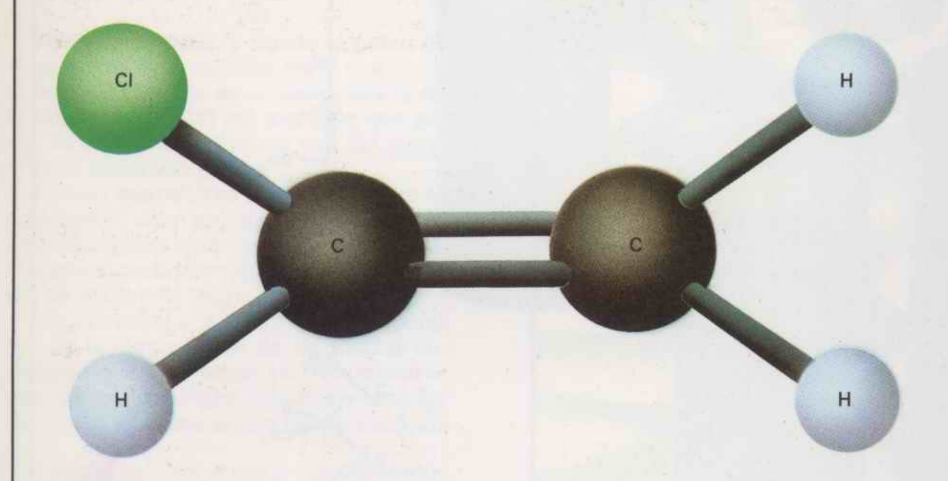
Control de la temperatura y copolímeros Como ya se ha dicho, el PVC es un polímero extremadamente versátil que tiene múltiples aplicaciones. En particular se pueden obtener distintas calidades de PVC modificando la temperatura del proceso de polimerización del cloruro de vinilo.

Cuando se trabaja a temperaturas más elevadas, se obtiene un polímero de menor peso molecular que se puede emplear, por ejemplo, para la fabricación de los discos, mientras que, operando a temperaturas más bajas, se obtiene un polímero de mayor peso molecular utilizable, por ejemplo, para cuerdas, tubos o cortinas para ducha.

Las características del PVC también se pueden modificar polimerizando el cloruro de vinilo junto a otros compuestos; así se obtienen unos copolímeros que presentan las características de cada compuesto inicial. Por ejemplo, el cloro contenido en el PVC, si por un lado proporciona al polímero buenas características de dureza y resistencia, por otro, en cambio, hace más difícil la elaboración y el conformado. Para aumentar las posibilidades de elaboración del polímero, se trabaja añadiendo, en fase de polimerización, compuestos como el acetato de vinilo o el propileno. El copolímero así obtenido se puede utilizar ventajosamente en la fabricación de botellas para bebidas alcohólicas o de suelos vinílicos.

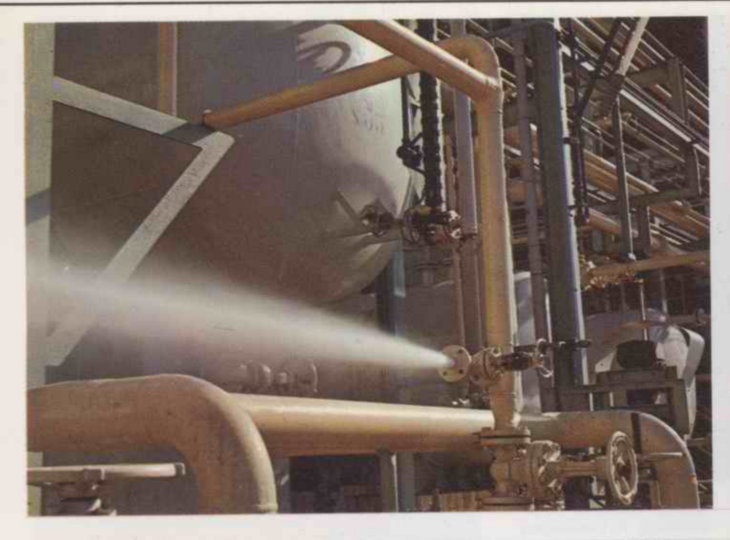
La utilización de copolímeros del tipo cloruro de vinilo-compuesto acrílico, permite obtener guarniciones para cerramientos, que pueden resistir cómodamente las concentraciones de esfuerzos que se producen en las curvaturas y en las esquinas de los productos manufacturados.

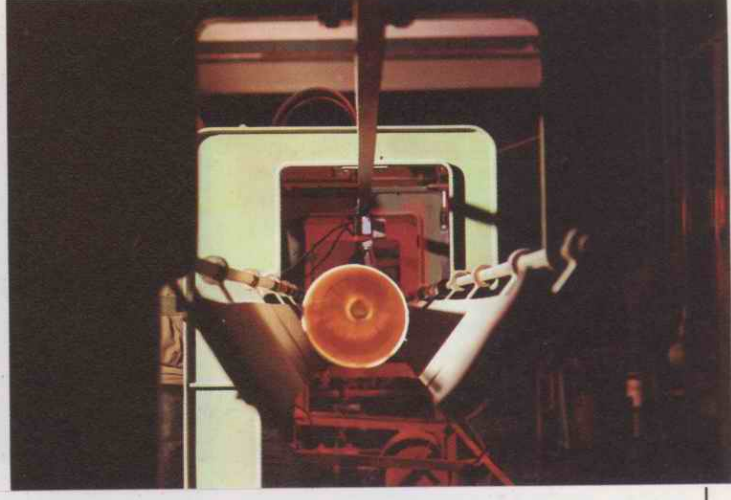
Ya que el PVC y otros importantes polímeros sintéticos se obtienen del petróleo, es necesario alejar el peligro de un agotamiento de dicha materia prima debido, sobre todo, al enorme aumento del consumo de los productos petrolíferos empleados como fuente energética. Ade-



Arriba, modelo molecular de cloruro de vinilo. Este compuesto se obtiene del etileno y del acetileno, y a temperatura ambiente su estado es gaseoso. La molécula, formada por dos átomos de carbono, tres de hidrógeno y uno de cloro, presenta una radiactividad algo baja.

A la izquierda, modelo molecular del cloruro de polivinilo. Este polímero se obtiene mediante una reacción de poliadición efectuada en una emulsión de agua o en una suspensión. La estructura o las características del producto dependen de la temperatura de polimerización: cuanto más baja es dicha temperatura, más alto es el punto de reblandecimiento de esta resina termoplástica. Como el cloruro de polivinilo tiene tendencia a perder, a alta temperatura, cloro e hidrógeno, generalmente se le añade en la composición final un estabilizador como el carbonato de calcio El polímero obtenido se conserva en suspensión acuosa. Posteriormente se deseca y se extruye en gránulos.







Conviene recordar que el monómero se comporta de esta manera en cuanto que, a temperatura ambiente, se encuentra en estado gaseoso.

Arriba a la derecha, imagen sobre cómo el cloruro de polivinilo encuentra una gran aplicación en la producción de tubos. En este caso, la producción del tubo de tipo rígido se efectúa mediante extrusión. Una vez salido de la máquina, el tubo se corta a la longitud deseada. Gracias a sus características mecánicas, por su bajo peso específico y por su resistencia a los agentes corrosivos, los tubos rígidos de PVC se emplean mucho, tanto en la construcción, como en la industria química.

En el centro, una calandria para la producción de película de PVC. Esta, cortada a la anchura deseada y transformada en adhesivo mediante oportunas sustancias aplicadas sobre una de las dos superficies, se utiliza para confeccionar cintas.

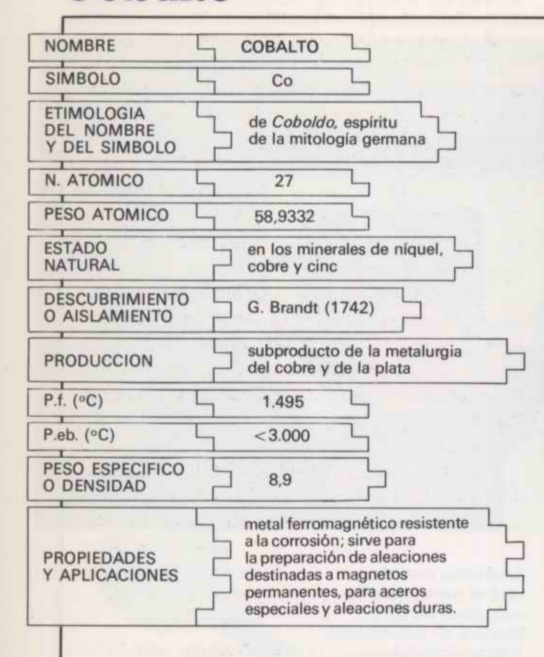
Finalmente, abajo, depósito de almacenaje del polímero. En esta fase se presenta bajo forma de pequeñas esferas que se mantienen en suspensión en agua y en continua agitación. Posteriormente el polímero se deseca, se aglomera en gránulos y se envía a la cadena de producción.

En las imágenes de esta página podemos ver algunas fases de preparación del cloruro de vinilo y algunos productos realizados utilizando el polímero que de él se obtiene, es decir, el cloruro de polivinilo (PVC). Arriba a la izquierda, un chorro del monómero cloruro de vinilo que sale de un depósito de almacenaje. Dicho monómero se prepara haciendo reaccionar etileno con cloro. El cloruro de polivinilo es extraordinariamente duro, de gran resistencia a la tracción y a la deformación. Puede serrarse y tornearse como un metal.

más, los ecologistas sostienen que las características de duración de los productos plásticos y el elevado coste requerido para producir materiales análogos partiendo de sustancias naturales, hacen al PVC y a los otros polímeros sintéticos ventajosos a largo plazo, incluso desde el punto de vista de la conservación de las fuentes mundiales de energía.

Véase **Elastómeros; Etileno y polietileno; Petroquímica; Plásticos; Polímeros; Polímeros fluorados**

Cobalto



NOMBRE	COBALTO
SIMBOLO	Co
ETIMOLOGIA DEL NOMBRE Y DEL SIMBOLO	de *Coboldo*, espíritu de la mitología germana
N. ATOMICO	27
PESO ATOMICO	58,9332
ESTADO NATURAL	en los minerales de níquel, cobre y cinc
DESCUBRIMIENTO O AISLAMIENTO	G. Brandt (1742)
PRODUCCION	subproducto de la metalurgia del cobre y de la plata
P.f. (°C)	1.495
P.eb. (°C)	<3.000
PESO ESPECIFICO O DENSIDAD	8,9
PROPIEDADES Y APLICACIONES	metal ferromagnético resistente a la corrosión; sirve para la preparación de aleaciones destinadas a magnetos permanentes, para aceros especiales y aleaciones duras.

Arriba, a la izquierda, tabla-resumen de las propiedades del cobalto. La microfotografía muestra el aspecto de los pequeños cristales de vitamina B_{12} que contienen, en su estructura molecular, cobalto. Puesto que el cuerpo humano no lo sintetiza, la necesidad de cobalto viene satisfecha mediante esa misma vitamina. El ADN celular hace uso de él en pequeñas cantidades que se consiguen a través de los alimentos diarios.

Durante miles de años el cobalto se ha usado exclusivamente por su espléndido e intenso color azul. El azul cobalto fue empleado para decorar las porcelanas de la dinastía Ming en China y para colorear los jarrones de vidrio de Pompeya. El exquisito color del cobalto fue utilizado en las perlas de los collares en Persia y en las estatuas egipcias.

Solamente en nuestro siglo ha comenzado a emplearse el cobalto en otros campos. Actualmente es mínima la fracción usada para pigmentación; el metal azulplata se utiliza sobre todo en aleaciones de elevada resistencia, en los magnetos, en la terapia con radiaciones, en el tratamiento de aguas, en la alimentación y en las bombas de hidrógeno. Ha adquirido tal importancia, que constituye hoy un material estratégico.

El cobalto en la Naturaleza Sólo mínimas cantidades de cobalto se presentan en la superficie terrestre. Por esa razón el cobalto es difícil de extraer, y se obtienen solamente pequeñas cantidades. El cobalto no es extraído directamente, sino que se obtiene como subproducto en la extracción de otros minerales como el cobre. Su nombre deriva de los *Coboldos*, espíritus del folklore germánico que, según la leyenda, perseguían y atormentaban a los hombres que trabajaban en las minas y en las cavernas; la dificultad de obtenerlo ha determinado precisamente la elección del nombre.

El cobalto es también un importante elemento dietético, tanto para los animales como para el hombre. Previene una característica enfermedad de las ovejas, la ataxia congénita ovina, y además mejora la calidad de su lana. El cobalto es el único elemento pesado encontrado en una vitamina: en efecto, la vitamina B_{12} contiene pequeñas cantidades de cobalto. Aunque utilizado durante milenios en el campo de la cerámica y la alfarería, el cobalto no fue identificado hasta el año 1742, cuando el químico sueco Georg Brandt atribuyó la coloración azul característica de los esmaltes cerámicos a este nuevo elemento. El cobalto ha sido una curiosidad hasta nuestro siglo. Hoy es un componente clave en las aleaciones metálicas y, en su forma radiactiva, encuentra importantes aplicaciones en Medicina.

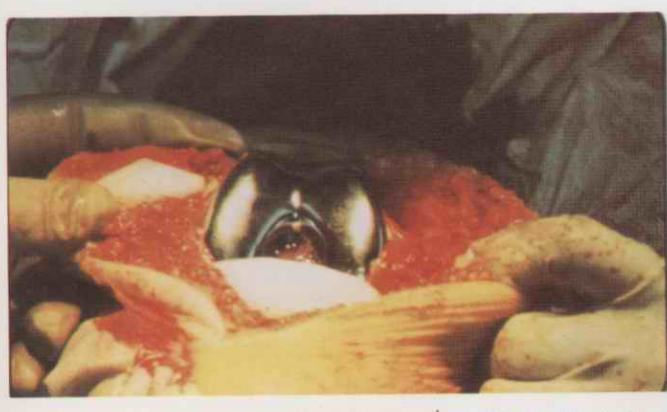
El cobalto en los metales Un cuarto de la producción mundial de cobalto se emplea en la fabricación de aleacciones de acero de elevadas características a altas temperaturas. Una aleación está compuesta de diversos metales mezclados de modo que sus átomos se unan sin combinarse químicamente, produciendo así una sustancia que tiene propiedades distintas a las de los elementos que la componen. En base a los metales empleados, la aleacción producida puede tener muchas propiedades diferentes.

Las llamadas *superaleaciones* son aleaciones que pueden usarse a temperaturas

A la izquierda, cristales de acetato de cobalto vistos al microscopio con luz polarizada. Abajo, a la izquierda, pequeños cilindros de cobalto puro, como es usado para producir aleaciones. Grandes cantidades de cobalto se emplean —añadidas en aleación— en aceros para cortar, es decir, en utensilios usados por ejemplo en operaciones de fresado y de torneado. Abajo, magneto conteniendo cobalto.



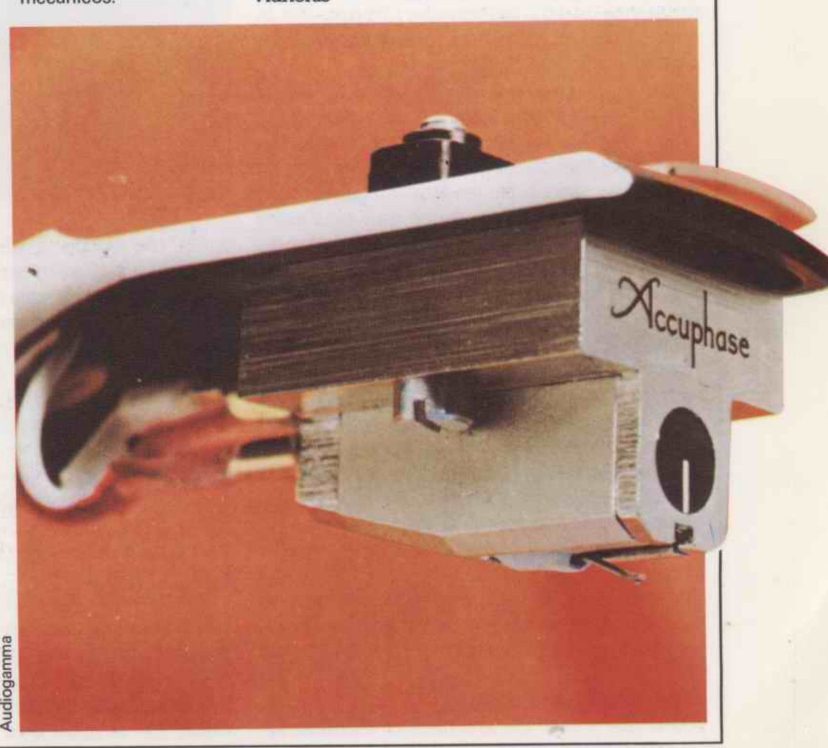




Sales de cobalto disueltas en vidrio le confieren una bonita coloración azul: arriba, una vidriera del Duomo de Milán; a la izquierda, partes de una prótesis realizada en aleación de cobalto. En cuanto a dureza, inoxidabilidad y compatibilidad con los tejidos del cuerpo humano, el cobalto es un material excelente. Además brinda a la industria muchísimas aleaciones con fines mecánicos.

altísimas, a las que el acero resultaría demasiado blando. La denominada *Stellite* fue una de las primeras superaleaciones, compuesta por un tercio a un medio de cobalto, además de cromo y tungsteno en proporciones menores. Se caracteriza por su gran dureza a altas temperaturas y se usa en aplicaciones donde tal propiedad es importante, como en los aparatos de corte rápido.

Otro cuarto de la producción mundial de cobalto se usa para obtener magnetos y es que éste es uno de los tres elementos, junto con el níquel y el hierro, que son magnéticos a temperatura ambiente. El cobalto mantiene sus propiedades magnéticas a temperatura más alta que los otros dos elementos. Muchos de los mejores magnetos permanentes son obtenidos con el *Alnico*, una aleación ferrosa constituida por cobalto (5-35%), aluminio (6-12%) y níquel (14-25%).



Audiogamma

Al lado, cápsula de tocadiscos mecánico. El movimiento de la aguja se convertirá en tensión eléctrica alterna por medio de un transductor que en este caso es de tipo magnético. Es decir, el movimiento relativo, impuesto por la aguja a la pareja bobina-imán, induce en la bobina una corriente. Para que este fenómeno se verifique eficazmente es necesario que el imán sea potente, es decir, posea mucha fuerza magnética en comparación con su masa y su volumen. Como, por otra parte, teniendo en cuenta el reducido espacio, en el brazo de un tocadiscos es suficiente y necesario un imán muy pequeño, se recurre a las aleaciones más eficaces para los imanes permanentes, las cuales contienen cobalto y samario.

El cobalto radiactivo Aunque casi todo el cobalto producido actualmente es empleado para aleaciones, uno de los usos más importantes lo constituye la investigación y la terapia médicas. Para tales fines se emplea una forma radiactiva del cobalto, denominada *cobalto-60*.

Los dos datos más importantes para identificar un átomo son el número atómico y el peso atómico. El número atómico es dado por la cantidad de protones existente en el núcleo de un átomo, y es el mismo para todos los átomos de un determinado elemento. Todos los átomos del cobalto, por ejemplo, tienen un número atómico de 27. El peso atómico de un átomo es equivalente aproximadamente al número de protones y de neutrones del núcleo. Atomos del mismo elemento pueden tener un número diverso de neutrones en el núcleo, y por lo tanto pesos atómicos diferentes.

Los átomos que tienen el mismo número de protones pero diferente número de neutrones se llaman *isótopos*.

La mayor parte de los átomos de cobalto tiene peso atómico 59. En esta forma el cobalto es estable y seguro. Sin embargo, cuando es bombardeado en el laboratorio con neutrones, cada átomo absorbe un neutrón, formando un isótopo radiactivo del cobalto, con peso atómico 60: el ya mencionado cobalto-60.

Aunque radiactivo, el cobalto-60 tiene un período de vida media muy breve, lo que significa que decae y se vuelve relativamente inocuo en un tiempo más bien breve. Tal hecho convierte al cobalto en un óptimo elemento como trazador radiactivo, esto es, una sustancia fácilmente identificable que puede ser introducida en el organismo para seguir determinados procesos biológicos.

Otro uso también importante del cobalto-60 en Medicina es el de agente radioterapeútico; por ejemplo, en el tratamiento de los tumores (el aparato empleado para bombardear los tejidos afectados de tumor es precisamente una *bomba de cobalto*).

En grandes cantidades, el efecto del cobalto-60 es mortal. Por tal razón es usado en algunas bombas de hidrógeno, en las cuales se aprovecha su período de vida media muy breve.

Una bomba de hidrógeno que explota libera un elevado número de neutrones. Si tales neutrones son rodeados de una capa de cobalto normal, transforman este cobalto en cobalto-60 y la radiactividad se difunde por centenares de kilómetros cuadrados. La "ventaja" es que el breve período de vida media del cobalto-60 dejará el área nuevamente habitable en una generación. Esto hace "interesantes" tales bombas de cobalto para aquellos estrategas que piensan muy seriamente en vencer e incluso en sobrevivir a una guerra nuclear.

Véase **Cáncer; Isótopos; Radiactividad; Tumor; Vidrieras**

Cobre



NOMBRE	COBRE
SIMBOLO	Cu
ETIMOLOGIA DEL NOMBRE Y DEL SIMBOLO	de *cuprum*, nombre latino de Chipre
N. ATOMICO	29
PESO ATOMICO	63,54
ESTADO NATURAL	en estado nativo y en los minerales: calcopirita, calcosina, cuprita
DESCUBRIMIENTO O AISLAMIENTO	conocido en la antigua Roma
PRODUCCION	tostación de los sulfuros, producción de la mata y fusión de ésta en convertidores de tipo Bessemer
P.f. (°C)	1.083
P.eb. (°C)	2.585
PESO ESPECIFICO O DENSIDAD	9,73
PROPIEDADES Y APLICACIONES	metal blando, dúctil, buen conductor de la electricidad y del calor; usado como conductor eléctrico, forma fácilmente aleaciones.

El cobre es conocido desde el Neolítico, en que comenzó a utilizarse en aleación con el estaño (bronce) para la fabricación de utensilios, estatuas y armas.

Alrededor del 8000 a. de C., coincidiendo con el final de la Edad de Piedra, el cobre puro sustituyó a las piedras en los utensilios rudimentarios.

Los antiguos canteros egipcios cortaban el granito con instrumentos fabricados con el cobre extraído en la península del Sinaí, mientras en todo el mundo antiguo el cobre se usaba para fabricar objetos ornamentales, vajillas, armas y otros útiles.

El principal proveedor de la Roma antigua era la isla griega de Chipre, de la cual derivó el nombre latino *cuprum*, que significa "cobre".

Entre los metales, el cobre se distingue por su color rojizo: los demás, excepto el cloro, son en su mayoría de color blanco plateado. Expuesto al aire rico en vapor de agua, pierde su esplendor formando una capa verde que evita una posterior corrosión. Cuando se mezcla o se funde con otras sustancias, cambia sus propiedades físicas y puede hacerse extremadamente duro y resistente a la corrosión. Las aleaciones de cobre más usadas son el bronce y el latón.

El cobre tiene una amplia gama de propiedades útiles. Aún hoy se utiliza para muchos de los fines con que era usado antiguamente, además de las numerosas nuevas aplicaciones descubiertas, tales como el transporte de la electricidad.

El cobre es también importante para la vida animal y vegetal, y es uno de los oligoelementos, o sea, aquellos elementos que en pequeñísimas dosis son esenciales en la dieta del hombre.

La familia del cobre El cobre forma parte del grupo de elementos llamado *familia del cobre*. Todos los miembros de este grupo poseen propiedades químicas similares. En el sistema periódico de los elementos, tabla desarrollada por el químico ruso Dimitri Mendeleiev, los elementos son clasificados según su estructura atómica. En dicha tabla, los miembros de una familia de elementos se sitúan sobre la misma columna vertical. Los tres miembros de la familia del cobre se encuentran todos en la octava columna, a contar desde la derecha. El cobre es el que ocupa la posición más alta y debajo de él están la plata y el oro.

La familia del cobre es característica por numerosas razones. Sus tres miembros son relativamente raros en la corteza terrestre, y desde la Antigüedad se les ha tenido en gran estima. Estos metales están entre los seis de que se habla en el Anti-



Arriba y abajo, minerales de cobre; en el centro, el mapa de la distribución mundial de sus principales yacimientos.

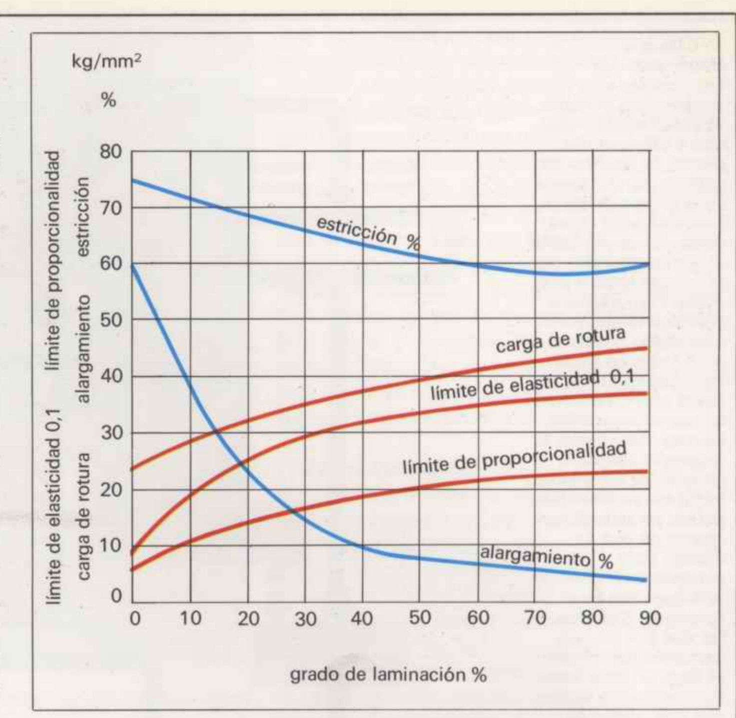
guo Testamento. Debido a su rareza y belleza, se han usado desde los tiempos antiguos para acuñar monedas.

Distribución y producción Como la plata y el oro, el cobre puede encontrarse en estado puro bajo forma de granos finos u ocasionalmente formando grandes masas. En el Smithsonian Institute de Washington, en Estados Unidos, está expuesto un bloque de cobre puro de 3 toneladas de peso. Este "cobre nativo" es la forma en la cual los hombres primitivos encontraron por primera vez dicho metal. El cobre nativo se halla no sólo sobre la superficie terrestre, sino también en filones a miles de metros de profundidad. Más frecuentemente el cobre se encuentra en forma de mineral, es decir, en combinación con otros elementos. En algunos minerales el porcentaje de cobre puede ser inferior al 1%. Aunque los minerales de cobre están difundidos por todo el mundo, cerca del 85% de las reservas totales de cobre está localizado en cinco áreas principales: Estados Unidos (a lo largo de las orillas del lago Michigan y en algunos estados occidentales), Africa (Zimbabwe y Zaire), Chile, Unión Soviética y Canadá.

Los minerales de cobre se extraen mediante pozos a cielo abierto (se excava un pozo muy profundo, hasta alcanzar el mineral) o bien por extracción subterránea (abriendo una galería o túnel que desciende a grandes profundidades hasta alcanzar los filones).

Una vez extraídos, los minerales son refinados (fundidos en grandes hornos con otros ingredientes para separar las impurezas) y a menudo purificados ulteriormente mediante electrólisis (reacción química para separar las sustancias de un compuesto haciéndolas pasar a través de una corriente eléctrica). Los minerales usados para las aleaciones, como el estaño, el cinc y el plomo, se añaden una vez concluido el proceso de purificación.

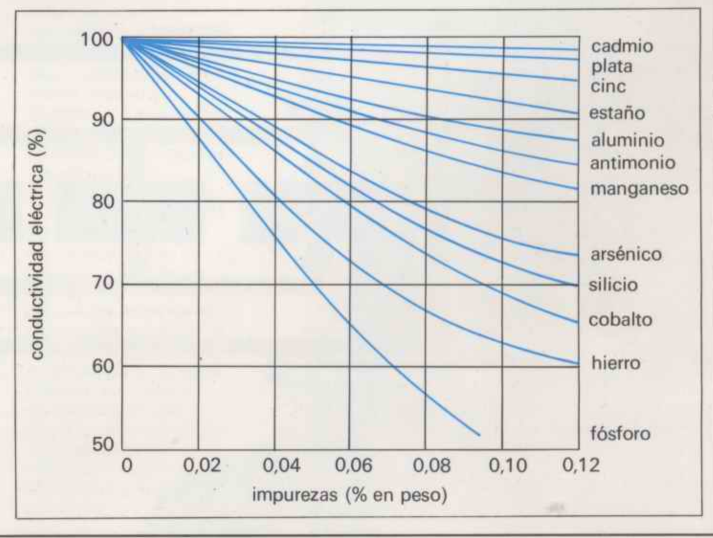
A la derecha, diagrama que muestra la influencia del grado de deformación plástica sobre las propiedades mecánicas del cobre. Los diversos grados de deformación plástica provocan en el cobre una modificación de su estado físico, que, si ha sucedido por causa de altas temperaturas, se demuestra particularmente negativo y degradante. La deformación plástica a bajas temperaturas, en cambio, en sentido aplicativo, es favorable porque no se verifican fenómenos de fragilidad. De ahí el particular y satisfactorio uso del cobre en el campo de las máquinas frigoríficas y sobre todo sus más modernas aplicaciones misilísticas y criogénicas.



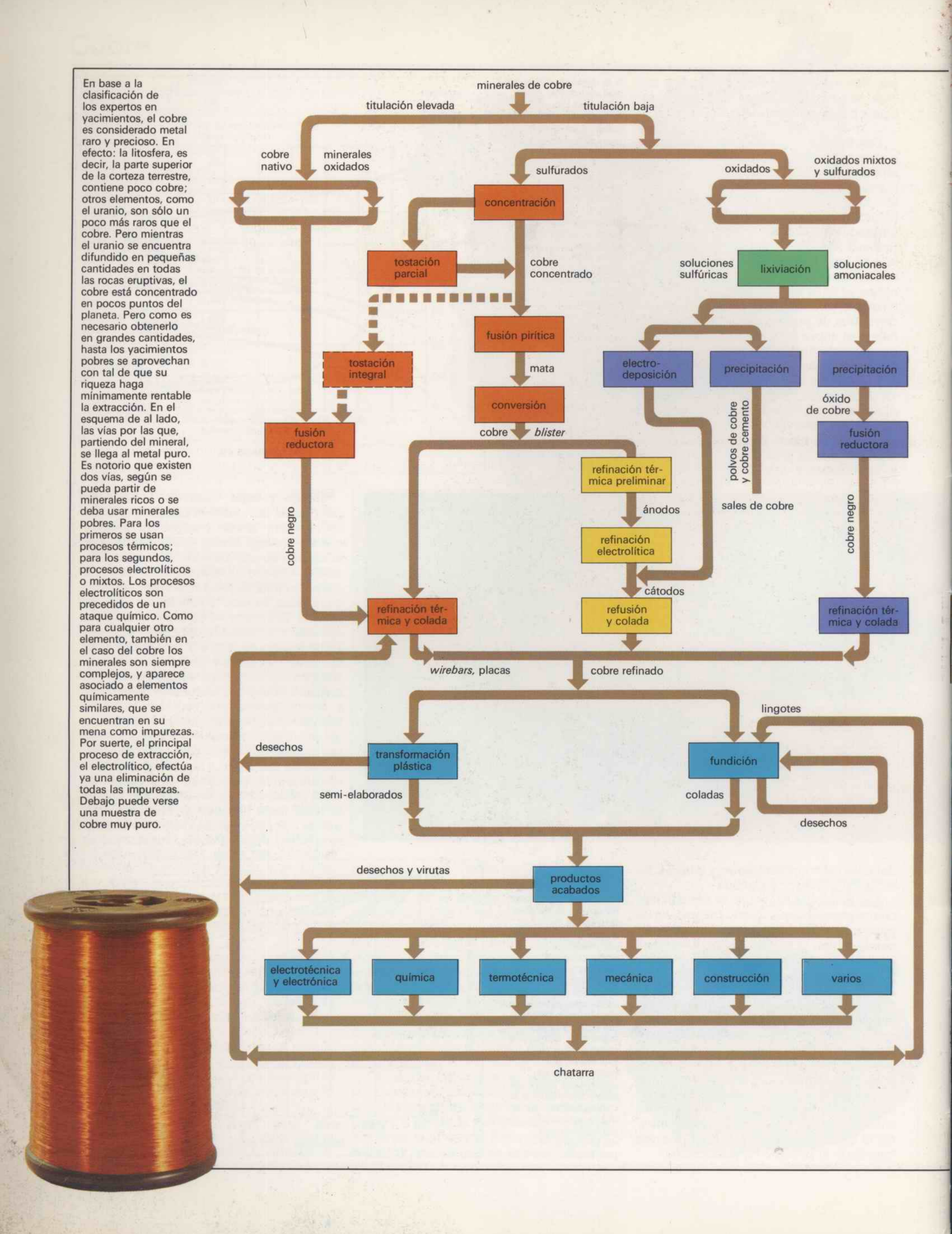


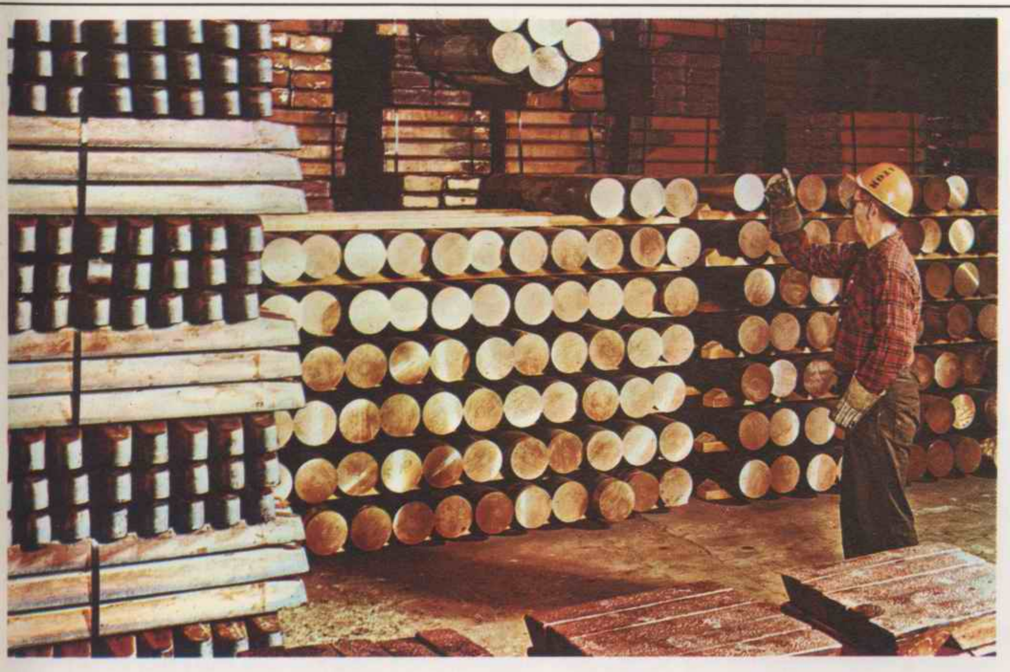
Arriba, mina de cobre a cielo abierto. Toda la montaña en la que se ha abierto la mina es de mineral de cobre, que puede ser extraído por medio de una excavación en escalones.
A la derecha, el diagrama de la conductividad eléctrica del cobre en función del porcentaje de impurezas. Elementos como el fósforo y el hierro, por ejemplo, aun en porcentajes bajísimos, disminuyen mucho la conductividad, razón por la cual son tan importantes los procesos de purificación del cobre.

Bronce y latón Las dos aleaciones principales del cobre, el bronce y el latón, se conocen desde tiempo tan antiguo como el mismo cobre. Tradicionalmentre el bronce es una aleación de cobre y de estaño, aunque el término tiene hoy una acepción más amplia (aleaciones hoy denominadas "bronce" no contienen nada de estaño). El bronce es un metal duro y resistente; si la aleación contiene cerca del 1% de fósforo, se hace aún más dura. Es utilizado en mecánica y, para fines ornamentales, en joyería y arquitectura. Puesto que la fusión de los dos elementos tiene lugar a temperaturas relativamente bajas, el bronce es a menudo empleado para fundir estatuas. El latón es una aleación de cobre y cinc, en proporciones aproximadamente de dos a uno, a la que se añade frecuentemente pequeñas cantidades de otros metales, como el estaño y el plomo. El latón tiene un color amarillo brillante, que se convierte en más rojo si se aumenta el porcentaje de cobre. Puesto que se



En base a la clasificación de los expertos en yacimientos, el cobre es considerado metal raro y precioso. En efecto: la litosfera, es decir, la parte superior de la corteza terrestre, contiene poco cobre; otros elementos, como el uranio, son sólo un poco más raros que el cobre. Pero mientras el uranio se encuentra difundido en pequeñas cantidades en todas las rocas eruptivas, el cobre está concentrado en pocos puntos del planeta. Pero como es necesario obtenerlo en grandes cantidades, hasta los yacimientos pobres se aprovechan con tal de que su riqueza haga mínimamente rentable la extracción. En el esquema de al lado, las vías por las que, partiendo del mineral, se llega al metal puro. Es notorio que existen dos vías, según se pueda partir de minerales ricos o se deba usar minerales pobres. Para los primeros se usan procesos térmicos; para los segundos, procesos electrolíticos o mixtos. Los procesos electrolíticos son precedidos de un ataque químico. Como para cualquier otro elemento, también en el caso del cobre los minerales son siempre complejos, y aparece asociado a elementos químicamente similares, que se encuentran en su mena como impurezas. Por suerte, el principal proceso de extracción, el electrolítico, efectúa ya una eliminación de todas las impurezas. Debajo puede verse una muestra de cobre muy puro.





Por esta razón, y dado que el cobre es muy dúctil (fácil de reducir a hilos), viene siendo ampliamente usado en conductores y maquinarias eléctricas; más del 50% del cobre extraído se utiliza para este fin.

El cobre es también muy empleado en arquitectura, por su belleza y su resistencia a la corrosión. La estatua de la libertad, en Nueva York, fue construida en gran parte con placas de cobre. El cobre puede ser reducido a láminas muy delgadas, por lo cual es útil como material de recubrimiento, y siempre que se precisen capas flexibles. Varios compuestos de cobre son además importantes pigmentos, colorantes, germicidas y anticriptogámicos.

parece mucho al oro, se usa en joyería y para objetos decorativos, tales como picaportes, barandillas, camas, botones, tornillos y las partes ornamentales de las maquinarias. El cinc, además, aumenta la dureza del cobre (el latón es más duro que el cinc y el cobre) y su resistencia al oscurecimiento frente a los agentes atmosféricos. Para evitar este oscurecimiento, al final de su elaboración se recubre el latón con una laca o un barniz. Puesto que es menos costoso que el bronce (el cinc es más económico que el estaño y el cobre), el latón se utiliza como sustituto del bronce, con un revestimiento de barniz para aumentar la semejanza.

Otras aleaciones del cobre son utilizadas para una gran variedad de productos como tuberías, conducciones, hilos y monedas.

Aplicaciones El cobre y sus aleaciones constituyen el segundo grupo metálico (detrás del hierro) en cuanto al número de usos. El cobre ocupa asimismo el segundo puesto, detrás de la plata, como conductor de energía eléctrica, aunque es mucho más utilizado por su menor costo.

Papel biológico En las plantas, el cobre es importante en el proceso de fotosíntesis, aunque no sea compuesto de la clorofila. Ciertamente entra en la composición de algunos enzimas oxidácidos.

Para los seres humanos el cobre es importante en la formación de los huesos y en la síntesis de la hemoglobina.

Síntomas de la carencia de cobre son la anemia y un escaso desarrollo de los huesos. Afortunadamente tal tipo de deficiencia es rara, ya que el cobre está presente en la mayor parte de los alimentos.

Véase **Aleación**

ALEACIONES DEL COBRE

ALEACIONES	COBRE %	CINC %	ESTAÑO %	PROPIEDAD	APLICACIONES DEL COBRE
similor	90	10	—	color bello	bisutería
latón 72	72	28	—	muy dúctil y maleable	piezas estampadas
bronce para válvulas	82	6	12		





A la izquierda, minerales de cobre; arriba, depósito de cobre electrolítico en barras, placas y lingotes. En el centro, tabla de las propiedades de las dos aleaciones más importantes del cobre: el bronce y el latón, en las cuales el metal rojo muestra sus mejores propiedades mecánicas, ya conocidas antes de la civilización moderna. A la derecha, cúpulas de la iglesia de S. Simone Piccolo, en Venecia, recubiertas de cobre. El cobre, además de su espléndida belleza, tiene una notable resistencia a la corrosión.

Cociente de inteligencia

Siempre fue un problema que preocupó a los hombres determinar las alteraciones de la mente y comparar a los individuos supuestamente normales con los que presentan algún tipo de desviación. Ya los primeros psicólogos se interesaron por estudiar las diferencias entre los individuos, y en 1890 McKenn Cattell (1860-1944) introducía el término "*tests* mentales" para designar unas pruebas que permitirían comparar unos sujetos con otros.

Pero quizá el factor que más contribuyó a la introducción de los *tests* de inteligencia fue la necesidad social de determinar las posibilidades que tenían los niños que aprendían lentamente para seguir una escolaridad normal. A finales del siglo pasado, diversos psicólogos se ocupaban del problema, pero el más afortunado de ellos en cuanto a resultados fue el francés Alfred Binet (1857-1911).

El objetivo de Binet, desde sus primeros trabajos hasta su muerte, era tratar de establecer un instrumento de diagnóstico que permitiera determinar si un niño estaba avanzado o atrasado con respecto a los de su edad, sin entrar en problemas sobre si su retraso era adquirido o se debía a causas congénitas, heredadas. Para lograr este objetivo, Binet, con diversos colaboradores, principalmente Henri y Simon, fue realizando numerosas pruebas hasta lograr un instrumento bastante perfecto para las necesidades prácticas que pretendía. Tan perfecto resultó, que los *tests* de inteligencia que se utilizan hoy en día son herederos directos de la *prueba de Binet-Simon*, e incluso ésta continúa todavía utilizándose con ligeras modificaciones.

Puntuaciones del CI La estimación de la inteligencia se basó inicialmente en la relación entre la edad real y el nivel de desarrollo mental o *edad mental*. Alfred Binet, por encargo del gobierno francés, fue el primero en elaborar una escala métrica de la inteligencia para poder distinguir los niños escolarizados retrasados de los intelectualmente normales. Esa escala constaba de una serie de tareas de dificultad creciente, lo que hacía posible graduar el desarrollo intelectual en niveles de edad mental según las tareas que efectuaran correctamente los individuos de distintas edades cronológicas. Se determinó que la edad mental correspondía a los valores medios obtenidos por las personas de cada grupo de edad real.

Más tarde, en la Universidad de Stanford, California, Lewis Terman utilizó esa escala para realizar los *tests de inteligencia Stanford-Binet*, de gran influencia en la historia de estas pruebas. Se adoptó entonces un índice nuevo, el cociente intelectual (CI). El objetivo del CI es valorar el grado de desarrollo de la inteligencia como razón entre la edad mental y la cronológica. Para precisar mejor las diferencias evolutivas, se tienen en cuenta no sólo los años sino también los meses, tanto reales como mentales, a los que se multiplica por 100 para eliminar los decimales y hacer que el promedio sea igual a 100 (cuando la edad mental y la cronológica son idénticas). Así, un niño de 10 años y otro de 12 que tengan la misma edad mental tienen distinto CI. Si la edad mental de ambos es 12, el niño de 12 años tendrá (144×100/144=100) una puntuación de 100, mientras que la puntuación del otro (144×100/100=120) es de 120. El niño de 12 años tiene la misma edad mental que el grupo de niños de su edad; su puntuación de 100 indica que está en la media. En cambio, el CI=120 del niño de 10 años indica que está por encima de la media, siendo su edad mental superior a su edad cronológica.

¿Cómo se debe interpretar una puntuación de CI? Al tipificar los primeros *tests* se comprobó que las puntuaciones de los sujetos se distribuían de acuerdo con la curva normal, con una media de 100 y una desviación típica de 16. Por tanto, conociendo el CI de un sujeto se podía determinar en qué grado obtenía una puntuación superior o inferior al valor medio. Ahora bien, la edad mental deja de aumentar poco después de la adolescencia y, por consiguiente, ya no se puede medir el CI; este descubrimiento es importante porque permite utilizar con los sujetos de más de 18 años la *desviación CI*, método sugerido por un discípulo de Terman, Arthur S. Otis. A la puntuación media para cada grupo de edad se le asigna un valor de 100 y al individuo se le da una puntuación según su desviación respecto a la norma de su grupo, utilizando los parámetros de la desviación típica.

En la escala de CI se considera que una puntuación entre 90 y 109 corresponde a la situación media o "normal"; 110-119, un poco mejor que la media; 120-129, intelectualmente superior; y por encima de 130, muy inteligente; 70-89 se considera una media baja; 50-69, ligeramente retrasado; 35-49, moderadamente retrasado; 20-34, bastante retrasado; y por debajo de 20, gravemente retrasado. Si bien debe tenerse siempre en cuenta que sólo con el CI no se puede establecer si se trata de un individuo retrasado o inteligente. El retrasado mental tiene que mostrar incapacidades reales, mientras que el "genio" tiene que demostrar que posee capacidades poco corrientes de aprendizaje y creatividad.

***Test* para obtener el CI** Existen muchas versiones de *tests* de capacidad mental además del de Stanford-Binet. Entre otros: la Escala de Inteligencia Adulta de Wechsler (WAIS) y la Escala de Inteligencia de Niños (WISC), el Test colectivo de Otis de capacidad mental, y el Test Army Alpha, que utilizó el Ejército de Estados Unidos para clasificar a unos dos millones de reclutas durante la I Guerra Mundial.

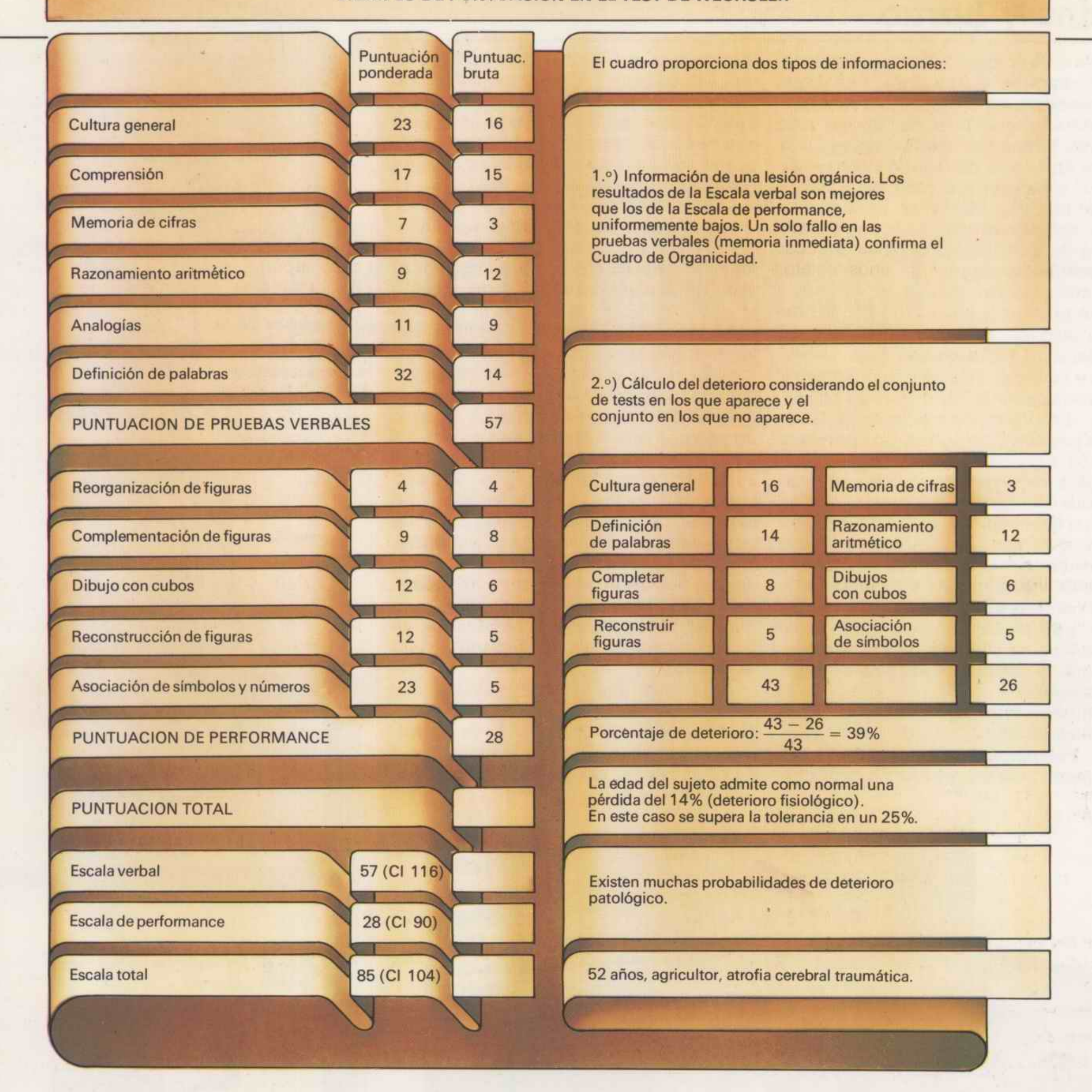
Todos los *tests* que se utilizan para determinar la capacidad mental, sean individuales o de grupo, están preparados para comprobar la aptitud mental general y no capacidades específicas. La mayor parte de los *tests* de inteligencia miden capacidades intelectuales que tienen una correlación muy alta con las capacidades necesarias para obtener buenos resultados en los estudios y en el trabajo. Normalmente son pruebas de capacidad verbal, motora, de razonamiento abstracto y comprensión y representación espaciales.

Uso y abuso del CI Las puntuaciones del CI se utilizan a menudo para interpretar los progresos en los estudios, ya que permiten descubrir a los estudiantes que se esfuerzan por encima de sus posibili-

TECNICAS DE DIAGNOSTICO PSIQUICO

Agentes
Aspectos metodológicos
Tipo de uso clínico
Func. especiales
Clínica
Examen de prestaciones, capacidad y funciones psíquicas y psicofísicas
Técnicas psicométricas
Diagnóstico diferencial
Neurología
Clínica de medicina psicosomática y terapia de perturbaciones neuróticas
Examen de la estructura y características de la personalidad
Técnicas cuantitativas
Indicaciones
Psiquiatría infantil y consulta pedagógica
Técnicas adaptadas a los niños
Examen de la génesis de la personalidad
Técnicas de interpretación libre
Clasificación

Los tests de CI se utilizan normalmente con los niños para determinar su edad mental. De esta forma se puede elegir la técnica didáctica más apropiada o preparar la elección de una escuela especial. Hay que tener presente que los resultados de estos *tests* no son definitivos, ya que la personalidad de un individuo está continuamente evolucionando. Los resultados no deben considerarse, por tanto, más que como datos indicativos.



EJEMPLO DE PUNTUACION EN EL TEST DE WECHSLER

	Puntuación ponderada	Puntuac. bruta
Cultura general	23	16
Comprensión	17	15
Memoria de cifras	7	3
Razonamiento aritmético	9	12
Analogías	11	9
Definición de palabras	32	14
PUNTUACION DE PRUEBAS VERBALES		57
Reorganización de figuras	4	4
Complementación de figuras	9	8
Dibujo con cubos	12	6
Reconstrucción de figuras	12	5
Asociación de símbolos y números	23	5
PUNTUACION DE PERFORMANCE		28
PUNTUACION TOTAL		
Escala verbal	57 (CI 116)	
Escala de performance	28 (CI 90)	
Escala total	85 (CI 104)	

El cuadro proporciona dos tipos de informaciones:

1.º) Información de una lesión orgánica. Los resultados de la Escala verbal son mejores que los de la Escala de performance, uniformemente bajos. Un solo fallo en las pruebas verbales (memoria inmediata) confirma el Cuadro de Organicidad.

2.º) Cálculo del deterioro considerando el conjunto de tests en los que aparece y el conjunto en los que no aparece.

Cultura general	16	Memoria de cifras	3
Definición de palabras	14	Razonamiento aritmético	12
Completar figuras	8	Dibujos con cubos	6
Reconstruir figuras	5	Asociación de símbolos	5
	43		26

Porcentaje de deterioro: $\frac{43 - 26}{43} = 39\%$

La edad del sujeto admite como normal una pérdida del 14% (deterioro fisiológico). En este caso se supera la tolerancia en un 25%.

Existen muchas probabilidades de deterioro patológico.

52 años, agricultor, atrofia cerebral traumática.

dades y a los que pueden aprender más rápido. A veces los colegios utilizan el CI para distribuir los alumnos por grupos, dependiendo de sus capacidades. Además, esta puntuación se utiliza a menudo para determinar si una persona es la idónea para un determinado puesto de trabajo o para admitir a un estudiante en un curso. Los resultados de los *tests* de inteligencia suelen ser coherentes con los resultados en los estudios, pero son sólo moderadamente eficaces cuando se quiere determinar las posibilidades de éxito de una persona en el campo profesional y social.

En la actualidad, debido a ciertas discrepancias surgidas, el CI ya no se considera tan válido como antes para estimar la inteligencia, entendiendo que hay que tener en cuenta además los aspectos genéticos (herencia) y ambientales. Algunos sostienen que las carencias ambientales, antes que la herencia, son las responsables del hecho de que, por ejemplo, en Estados Unidos la media del CI de los niños negros sea inferior a la de los niños blancos. Muchos han subrayado que las preguntas de los *tests* están desequilibradas a favor de la cultura dominante. Por ejemplo, en Estados Unidos, los hispanoparlantes y todos aquellos que tienen una base cultural distinta están en desventaja respecto a los demás. Se ha intentado elaborar *tests* "imparciales", libres de las influencias culturales, pero la posibilidad de que las diferencias de CI entre distintos grupos socioeconómicos se puedan utilizar para justificar posteriores discriminaciones académicas y sociales constituye un problema que preocupa.

También se ha puesto en tela de juicio la idoneidad de los *tests* para medir el CI. Algunos sostienen que los *tests*, generalmente, no son útiles porque la puntuación se obtiene de un conjunto de pruebas de aptitudes sin relación entre ellas. Otros van más allá e indican que los *tests* de inteligencia no miden realmente la inteligencia sino otros factores, como podría ser el éxito escolar. Estos científicos piensan que habría que estudiar y valorar esta capacidad de otras formas. Otras críticas señalan que las puntuaciones del CI pueden variar cinco o más puntos, dependiendo de factores tales como las condiciones del sujeto en el día en que ha realizado la prueba, la falta de precisión en la administración o puntuación del *test* y de la interpretación del mismo. Estas variaciones tan amplias sugieren que se debe dedicar más atención a la interpretación y cuestionan la prioridad dada a las puntuaciones como norma de valoración.

Véase **Cerebro**

Cocina y horno

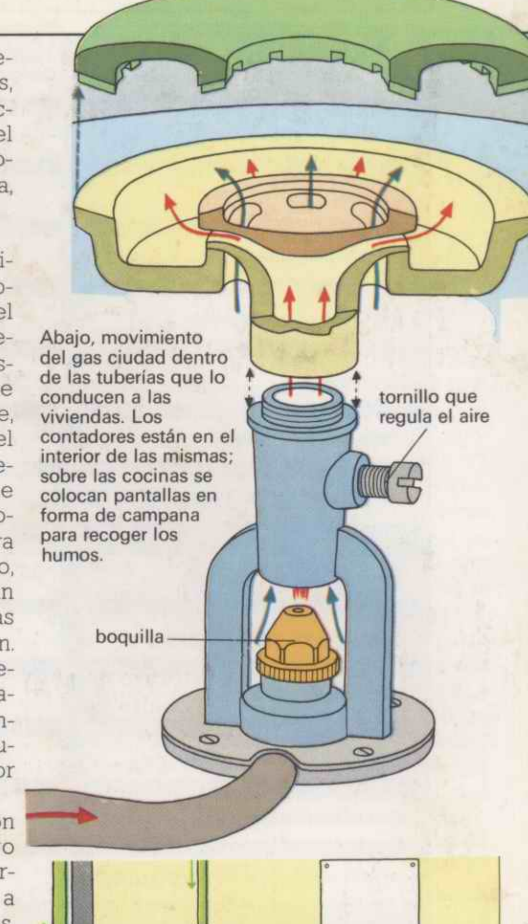
Hasta el siglo pasado, las comidas eran preparadas al aire libre o en fogones colocados en la cocina, sirviéndose de calderas suspendidas, de parrillas y de asadores. El pan era cocido una vez a la semana en hornos de ladrillo situados lejos de la casa principal para evitar el peligro de incendio. Más tarde, los llamados *hornos holandeses*, con separaciones de metal o de ladrillo colocadas en la parte posterior de los fogones, permitieron llevar la cocina dentro de la casa.

Cuando al iniciarse el siglo XIX se empezó a disponer de hierro en cantidades considerables y a bajo coste, éste fue usado para construir estufas independientes que producían más calor que las chimeneas y disponían además de superficies para la cocción y de hornos. Los primeros modelos funcionaban únicamente con leña, pero los sucesivos pudieron ser alimentados con carbón, gas natural, gas de carbón o queroseno. A finales de siglo, las estufas se habían convertido en grandes artefactos de acero esmaltado en azul, con incisiones ornamentales, relucientes brazales y contornos niquelados. Parte del calor era transmitido a un recipiente colgado a un lado de la estufa, donde se calentaba agua, utilizada para los baños y otros usos domésticos.

Cuando se empezaron a usar las calderas colocadas en los sótanos para la calefacción central, las estufas se mantuvieron únicamente para la preparación de los alimentos, y así sus dimensiones disminuyeron. Las cocinas y los hornos modernos, bien aislados, funcionan con energía eléctrica y/o con gas; sin embargo, y dado el alto costo de estas energías, se está produciendo la vuelta a las estufas de leña, esencialmente para calefacción.

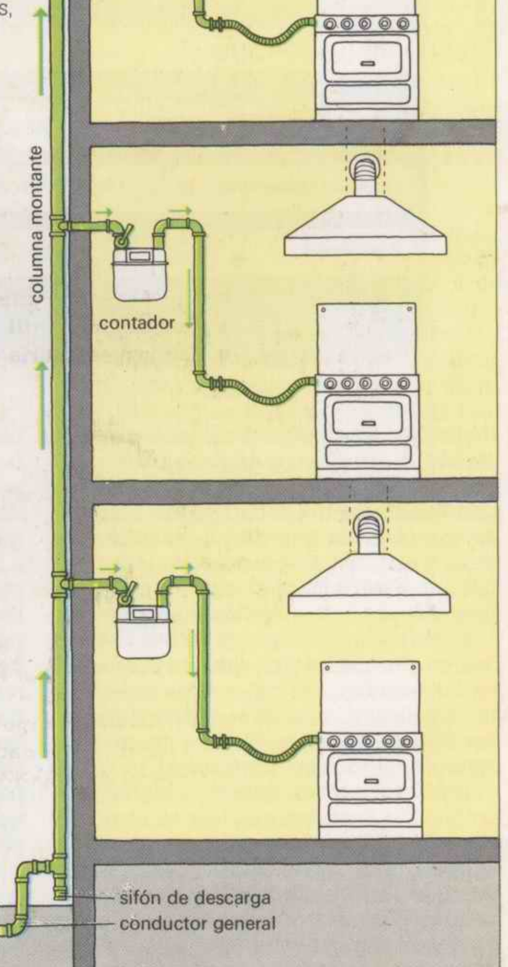
Los modelos del siglo XX Los hornillos eléctricos están dotados de quemadores de espiral o de plancha que utilizan el paso de la corriente eléctrica para generar calor. En las cocinas a gas el combustible se hace circular por quemadores de forma anular controlados por válvulas que, cuando el gas es encendido, permiten el desarrollo de la llama hasta una altura regulable. Otro tipo de quemador dispone de válvulas que al abrirse más proporcionan llamas más potentes, necesarias para hornos y cocinas profesionales. Por ello, las cocinas de los restaurantes necesitan sistemas de ventilación, a causa de las temperaturas elevadas que producen. También algunos modelos domésticos necesitan salidas de aire, si bien de ordinario los ventiladores colocados en las campanas situadas sobre los hornillos son suficientes para extraer el humo y el calor en exceso.

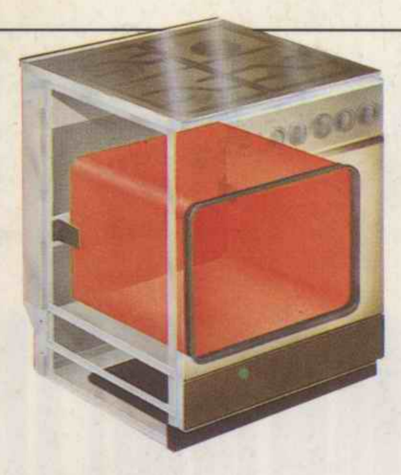
Un avance importante se produjo con la invención hacia 1890 de un dispositivo para la medición del calor y de los termostatos que regulan los quemadores a fin de mantener temperaturas constantes,

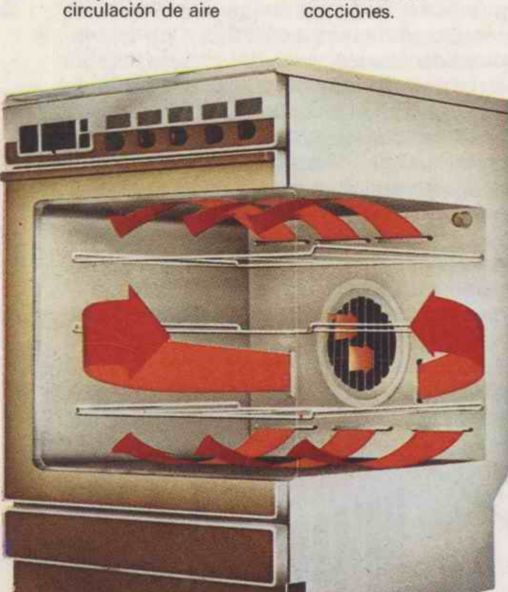


Abajo, movimiento del gas ciudad dentro de las tuberías que lo conducen a las viviendas. Los contadores están en el interior de las mismas; sobre las cocinas se colocan pantallas en forma de campana para recoger los humos.









A la izquierda, horno llamado de "calor aislado". Una potente protección térmica, a base de material especular y "lana de roca", impide la pérdida de calor. Abajo, horno con circulación de aire caliente forzada por un ventilador. El movimiento del aire caliente hace que la temperatura interna alcance un valor homogéneo, lo que facilita ciertas cocciones.

En la página anterior: arriba, la boquilla del gas. Esta recibe el gas de la tubería, y debe ser quemado de modo total y sin generar humos. El flujo de gas puro pasa por el tallo del quemador, dentro del cual se mezcla con el aire, cuyo paso está regulado por un tornillo. De esa forma la mezcla puede quemarse al combinarse con el oxígeno del aire. Abajo, cocina de gas con horno de llama.

que fueron instalados de forma habitual en los hornos a partir de 1915. Los hornos actuales —fabricados en acero— están revestidos de esmaltes cerámicos (generalmente porcelanas) resistentes a la corrosión y al calor, disponiendo de ventanillas con doble acristalamiento.

Para limpiarlos son necesarios detergentes bastante fuertes, a menos que estén dotados de mecanismos de autolimpieza o de limpieza continua. El mecanismo de autolimpieza consiste en calentar hasta una temperatura de 470 °C, suficiente para quemar los restos y las salpicaduras de alimento. Los hornos de limpieza continua tienen un revestimiento de cerámica sin pulir, con un ingrediente catalizador que actúa químicamente sobre los restos, operando a la temperatura normal de uso.

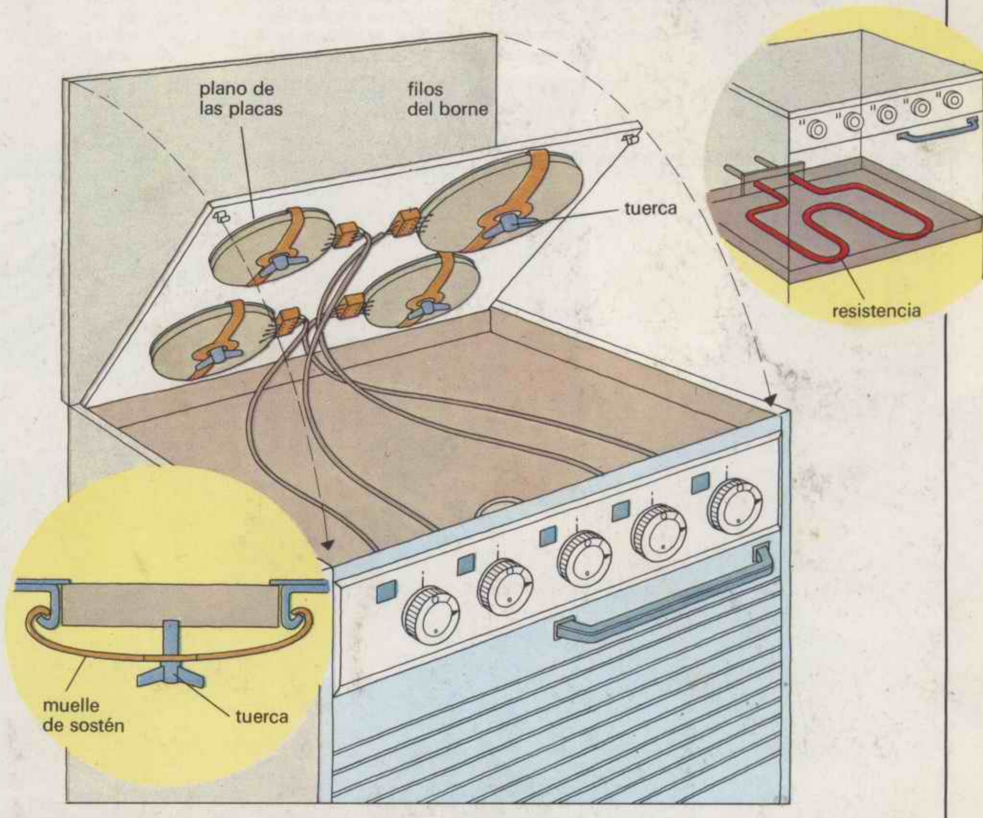
Para facilitar la limpieza, muchos hornos disponen de placas de recogida en forma de platillos, colocados bajo los quemadores, que pueden ser removidos. En los modelos más recientes, la totalidad de la plancha de cocción puede ser desmontada. En algunas cocinas eléctricas, los quemadores están encajados en la cerámica, de modo que la plancha de cocción quede lisa y pueda ser limpiada con mayor facilidad. Otra característica de las cocinas modernas son las planchas de cocción modulares, intercambiables, que permiten acoplar parrillas y placas según las necesidades de elaboración culinaria.

Hornos de microondas Introducidos en los años cincuenta de nuestro siglo, los hornos de microondas calientan los alimentos sirviéndose de radiaciones situadas entre la luz visible y las ondas de radio en el espectro electromagnético. Un artefacto en forma de tubo, llamado *magnetrón*, colocado en la parte superior o en uno de los lados del horno, genera microondas que hacen vibrar las moléculas del alimento creando calor interno por la fricción que se genera a causa de las atracciones y repulsiones de las moléculas entre sí. El alimento se cocina muy rápidamente, siendo preciso servirse de recetarios especiales para determinar el tiempo de cocción.

La velocidad de cocción puede ser determinada en función del tiempo o de la cantidad de energía empleada, que puede ser regulada desde una potencia del 10% a otra del 100% de la capacidad del horno. Para el primer caso, existen relojes para marcar el tiempo, que encienden y apagan automáticamente el horno, tanto para los hornos de microondas como para los normales. La posterior introducción de los sistemas mixtos de microondas y unidades eléctricas se debe a que el horno de microondas presentaba el inconveniente de no dorar superficialmente los alimentos.

Existe una opinión bastante generalizada en relación al carácter perjudicial de estos hornos de microondas para la salud de las personas que los manejan; obviamente, los fabricantes opinan lo contrario, afirmando que las paredes de los hornos de microondas impiden totalmente la salida de radiaciones y el daño a los usuarios. Lo cierto es que los efectos a largo plazo no han sido estudiados suficientemente.

Véase **Horno cerámico; Horno industrial**



Vista de una cocina eléctrica con la placa de cocción levantada. Muchas cocinas de gas tienen uno o más hornillos eléctricos, que pueden utilizarse cuando no se dispone de gas ciudad. En el círculo de la derecha, disposición de la resistencia "acorazada" de un horno eléctrico.

Código de barras

El código de barras (o Código Universal de Producto) es uno de los símbolos más utilizados y conocidos del mundo moderno; sin embargo, son pocas las personas que conocen su nombre y menos aún las que tienen idea de su funcionamiento. El símbolo UPC o CUP (Universal Product Code o Código Universal de Producto) es ese conjunto rectangular de líneas verticales paralelas y números impresos en las etiquetas de los productos que pueden ser adquiridos en los grandes almacenes o hipermercados.

En los establecimientos dotados de máquinas capaces de leer e interpretar ese código, el personal de caja hace que los distintos productos pasen delante de unas ventanillas: se escucha un breve sonido e inmediatamente después el precio del producto y una somera descripción del mismo aparecen en la pantalla de un terminal de vídeo, al mismo tiempo que se imprime el *ticket* o recibo de compra.

El símbolo del código de barras (CUP) El símbolo que aparece en los envases es en realidad una visualización gráfica de un número codificado asignado a cada producto. La representación numérica del código está impresa bajo el conjunto de rayas verticales, de forma que puede ser leído por cualquiera que lo desee. Las primeras cinco cifras y sus correspondientes caracteres del código indican el fabricante del producto, las cinco siguientes cifras del código de diez caracteres indican un producto concreto. Para tener la seguridad de que ese número es leído correctamente por la máquina, el símbolo contiene un número de control que se calcula sumando las cifras anteriores en una cierta forma. Cada uno de los caracteres del código consiste en dos barras oscuras y dos barras claras de distinta anchura. El símbolo se lee por un analizador mientras la cajera hace pasar el producto ante la ventanita situada al final



En todas las operaciones de contabilización automática de datos sobre movimiento de mercancías se pierde mucho tiempo en la lectura de los datos reseñados en los envases y en la introducción por teclado de dichos datos en las calculadoras convencionales. El código de barras

caracteres de la derecha

cifra de control

7

6 | 1000100 | 8 | 9 | 0 | 5

67890

barras centrales de control

de la cinta transportadora, en el control de salida.

Para leer el código de barras, el analizador emite un rayo de luz láser tan fino como la punta de un lápiz, que se proyecta desde bastantes centímetros por encima de la superficie de la ventana del analizador. Ese rayo ilumina no sólo el frente sino también los lados de las cajas, latas y botellas que contienen los distintos productos y en las cuales está impreso el código. A medida que el rayo luminoso se desplaza sobre el código, la luz es reflejada al analizador. La intensidad de los impulsos de luz reflejada varía con la anchura de las barras y con el color de las mismas. Cuando la luz vuelve al analizador, es enfocada por un conjunto de lentes sobre una célula fotoeléctrica. Esa célula transforma la energía luminosa en energía eléctrica y se produce una corriente cuya intensidad varía en el tiempo con la misma ley de variación que los impulsos luminosos al ser reflejados por las barras del código de distinta anchura y color. Estas señales eléctricas son posteriormente descifradas para asignar los valores numéricos correspondientes a los símbolos del código de barras.

El ordenador busca ese número de código en su memoria, localiza el precio y la descripción del producto correspondiente y envía esta información a la terminal de salida. Dicho precio y la descripción del producto aparecen en la pantalla de la caja y simultáneamente son impresos en el recibo.

Ventajas del código de barras Las ventajas principales de este sistema radican en su velocidad y precisión para la identificación y asignación de precio de los productos. Además proporciona al cliente un recibo impreso con la lista completa de los productos adquiridos, indicando el precio exacto de cada uno de esos productos. Por otro lado, el recibo incluye informaciones relativas a datos variables, como, por ejemplo, impuestos de venta (IVA, Impuesto sobre el Valor Añadido).

Del mismo modo, el código de barras constituye una de las mayores comodidades para el comerciante que lo utiliza. Un ordenador instalado en el establecimiento puede ser programado para mantener un inventario continuo de toda la mercancía almacenada. Tiempo y, por tanto, dinero se ahorran al aumentar la productividad de los empleados de almacén, reduciendo drásticamente la cantidad de tiempo necesaria para anotar cada producto vendido o para cambiar los precios de los productos almacenados.

El código de barras tiene su contrapartida en el Sistema Europeo de Numeración de los Artículos (European Article Numbering o EAN).

Los analizadores del tipo EAN son capaces de interpretar tanto el código CUP, o de barras, como el europeo, o EAN, el cual incluye otra cifra, indicativa del país de origen del producto en cuestión.

Véase **Célula fotoeléctrica**

(sobre estas líneas) es la respuesta más simple para la lectura automática de secuencias breves de cifras. En estas dos páginas se muestra el empleo del código de barras. Sobre una cinta transportadora de rodillos se deslizan los envases que en un lado llevan impresas las etiquetas con el código. A lo largo del trayecto pueden mezclarse varios tipos de productos y la lectura del código puede servir para decidir el recorrido de los mismos con el fin de efectuar una selección de productos para ordenar su almacenamiento. Otro sistema puede consistir en recoger todas las cajas a la vez, pero sabiendo perfectamente su número y el contenido de cada una de ellas. Todos esos datos son rápidamente enviados a las memorias de los ordenadores que realizan el recuento. En el círculo destacado puede verse un cabezal de lectura del código de barras. Un fotoemisor de estado sólido emite luz colimada (enfocada) por una minúscula lente y reflejada o absorbida por el fondo del código de barras. El reflejo resultante será recogido por un fotodiodo y transmitido al sistema de elaboración. Para la lectura a distancia, como ocurre en el caso de los productos que circulan sobre una cinta transportadora, se necesita un sistema de lentes más sofisticado, ya que además de ser mayor la distancia de lectura, ésta debe realizarse sobre todo el contorno de los envases de los distintos productos. A la izquierda puede verse una unidad que permite la lectura de las pequeñas etiquetas en las que van impresos los códigos por parte de los dependientes de las tiendas.

lápiz para lectura manual

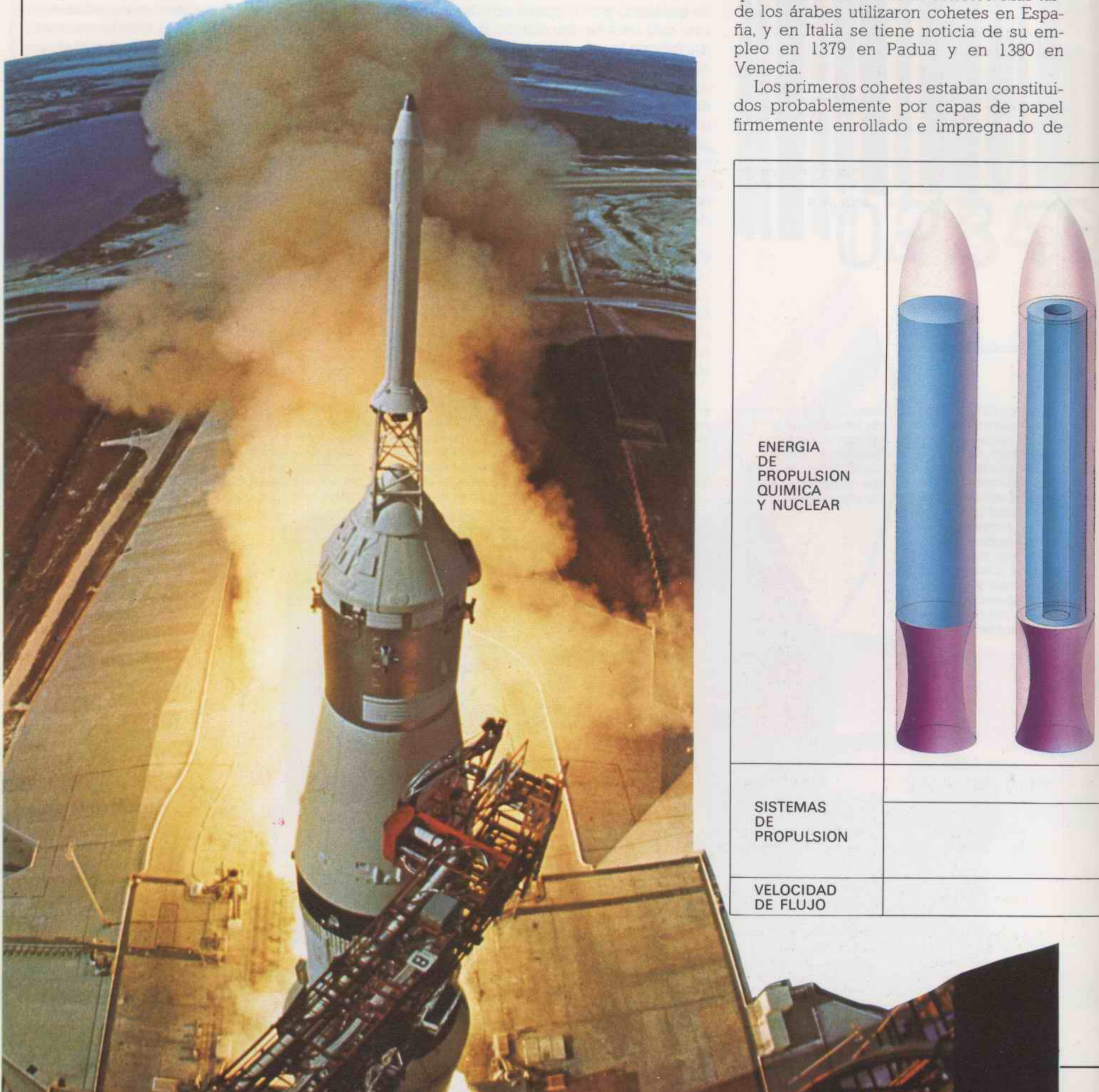
Cohete espacial

Un cohete es un ingenio completamente autónomo. Esta es la principal diferencia que existe entre los cohetes y cualquier otra máquina de propulsión, y constituye también la característica que permite a los cohetes viajar en los espacios interplanetarios.

Un cohete es básicamente un motor a reacción, aunque en realidad es muy distinto de los motores a reacción utilizados en los aviones. El principio fundamental en que se basa el funcionamiento de ambos motores es el mismo, y no es otro que la tercera ley del movimiento enunciada por Newton, que afirma que a cada acción le corresponde una reacción igual y contraria. En el motor a reacción de un avión, la quema del combustible da lugar a la expulsión de gases calientes a través de la tobera; y, como reacción a este hecho, el motor se mueve hacia adelante. La diferencia entre el motor de avión y el motor cohete consiste en que el primero utiliza para quemar el combustible el oxígeno del aire a través del que se desplaza, mientras que un cohete lleva consigo la sustancia oxidante necesaria para quemarlo y por lo tanto puede viajar en el espacio interplanetario, donde no hay aire, ni, por tanto, oxígeno.

Historia En la historia de la Humanidad, el empleo de los cohetes se remonta a los siglos pasados. El descubrimiento de la pólvora, que se atribuye a los chinos, fue lo que hizo posible la realización de los primeros cohetes. Hacia el siglo IX descubrieron que una mezcla de nitrato potásico, azufre y carbón puede arder con violencia explosiva. Al principio la pólvora sirvió (y sigue sirviendo) para aplicaciones pirotécnicas, pero en el siglo XIII se empezó a utilizar con fines militares. En el año 1232 la ciudad de Kaifeng, capital de la provincia de Honan, se defendió con "flechas de fuego incandescente" de los ataques de los mongoles, y parece ser que dichas flechas eran cohetes. Más tarde los árabes utilizaron cohetes en España, y en Italia se tiene noticia de su empleo en 1379 en Padua y en 1380 en Venecia.

Los primeros cohetes estaban constituidos probablemente por capas de papel firmemente enrollado e impregnado de



laca. En 1242 el inglés Roger Bacon anotó la fórmula para la preparación de la pólvora negra o pólvora pírica y, aproximadamente en la misma época, en Alemania, Alberto Magno recogió las instrucciones para la fabricación de cohetes en su libro *De Mirabilius Mundi* (*Sobre las maravillas del mundo*).

Durante su historia, los cohetes han ido desarrollándose paralelamente a la artillería, alternándose con ella en el protagonismo. En esta rivalidad, la precisión en el tiro fue el factor determinante de las preferencias de los jefes militares. Con el tiempo se desarrollaron nuevas ideas, como la de un vehículo empujado por un cohete que podía ser dirigido contra un portón o un muro para derribarlo, o la de un torpedo, movido también por un cohete, destinado a perforar los cascos de los barcos enemigos. También se prepararon cohetes incendiarios para quemar el velamen de los barcos y se difundieron los cohetes de señalización.

Algunas aplicaciones técnicas muy modernas encuentran su origen en los cohetes que antiguamente eran empleados para realizar señales o con fines pirotécnicos. Pero tuvo que llegar el siglo XX para que tales ideas fuesen recordadas, desempolvadas y reutilizadas para poner en órbita —e incluso enviar a otros planetas— los modernos vehículos espaciales.

Lanzamiento Uno de los mayores problemas inherentes a los cohetes y a su desarrollo ha sido el de su mecánica de lanzamiento. Ya en 1668 los cohetes para usos militares habían alcanzado el respetable peso de 60 kg con una carga explosiva de 7 kg. En el siglo XVIII un príncipe indio había concebido un cohete ofensivo cuya cámara de combustión era de hierro. Dicho cohete tenía un alcance de 1,25 km, pero la precisión de tiro era deficiente; sin embargo, lanzando al mismo tiempo muchos cohetes lograba efectos destructivos sobre el enemigo. Los cohetes eran lanzados utilizando largas cañas de bambú sujetas a los mismos mediante correas de cuero.

A finales del siglo XVIII se asentó en Europa la convicción de que los cohetes podían constituir una importante arma ofensiva. En Inglaterra, un tal William Congreve, hijo del inspector general del Royal Arsenal, comenzó a experimentar proyectos de su invención. El resultado de estos experimentos fue el desarrollo de un cohete lanzado con la ayuda de un bastoncillo de guía. Dicho cohete resultaba de una considerable precisión y podía ser dotado de una cabeza explosiva o incendiaria. El cohete de Congreve podía realizarse en ocho dimensiones distintas, la mayor de las cuales alcanzaba 27 kg de peso, y podía ser explosionado en vuelo mediante la regulación de la espoleta en la cabeza explosiva. Este cohete fue muy bien aceptado por la artillería y se empleó ya en las guerras napoleónicas. El empleo de los cohetes declinó rápidamente cuan-

PRINCIPALES TIPOS DE COHETES

propulsante
propulsante
agente oxidante + combustible
agua oxigenada (H_2O_2)
catalizador
propulsante
combustible
comburente
combustible
agente oxidante líquido
propulsante sólido
turbo-bomba

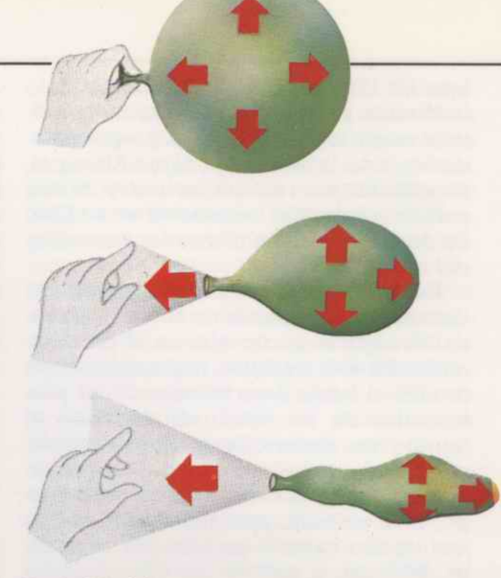
MONOPROPULSANTE SOLIDO	MONOPROPULSANTE LIQUIDO	PROPULSANTE LIQUIDO-LIQUIDO	PROPULSANTE HIBRIDO SOLIDO-LIQUIDO	ENERGIA NUCLEAR FLUIDO PROPULSANTE
configuración de la carga	nitrato de metilo (CN_3NO_3) + agua oxigenada (H_2O_2) + permanganato potásico ($KMnO_4$)	propulsante: queroseno, hidracina, hidrógeno + agentes oxidantes: oxígeno, flúor, ácido nítrico	propulsante + agente oxidante	hidrógeno, amoniaco agua + fluido propulsante
hasta 3.000 m/s	2.000 m/s	hasta 4.500 m/s	2.500 m/s	7.000-30.000 m/s

En la página anterior puede verse el despegue del *Saturno V*, el sistema de cohetes y cabina que llevó a la Luna a los astronautas del programa Apolo. Los cohetes de lanzamiento en este sistema son tres, situados uno tras otro. En la fotografía sólo puede apreciarse el vértice, donde se encuentra la cápsula cónica. Existe además otro cohete, situado en la parte superior de la cápsula, que actúa en caso de accidente; su misión consiste en encenderse y separar la cápsula del resto del conjunto llevándola hasta la altura necesaria para que el paracaídas de frenado de la misma sea efectivo. Arriba pueden verse algunos proyectos de motores-cohete. A la izquierda, cuatro tipos de motores con propulsante sólido: difieren en el diseño de la cavidad interna, que conduce a distintos esquemas de variación del empuje con el tiempo. Los dos siguientes funcionan por descomposición del propulsante, los otros dos son de tipo líquido-líquido, el penúltimo es de tipo híbrido (es decir, líquido-sólido) y el último de la serie presentada es un motor de propulsión nuclear.

do, a principios del siglo XIX, los cañones comenzaron a adoptar ánimas estriadas que mejoraron mucho la precisión en el tiro; de esta forma, al comenzar la Guerra de Secesión norteamericana, los cohetes estaban prácticamente en el olvido, salvo en lo que se refiere a su empleo para realizar señales. Durante la I Guerra Mundial fueron escasamente empleados, y fue en la siguiente conflagración mundial cuando se establecieron los cimientos de la gran era de los cohetes.

Vuelos espaciales En la Unión Soviética, Konstantin Tsiolkovsky fue el científico que finalmente disoció, en los cohetes, el sistema propulsivo y la pólvora, preconizando el empleo de los mucho más poderosos combustibles líquidos, como son el hidrógeno y el oxígeno líquidos. En Estados Unidos, Robert Goddard trabajó en el campo de los cohetes para investigaciones a grandes altitudes, con un motor que funcionaba a impulsos de cargas de propulsante sólido que se encendían en rápida sucesión. Goddard realizó también experimentos relativos a la mejora técnica de los motores, y particularmente introdujo el empleo de una tobera de acero. En 1926 consiguió lanzar, por primera vez, un cohete con propulsante líquido constituido por oxígeno y gasolina. Actualmente, en los sistemas de propulsión de los cohetes y misiles se utilizan normalmente propulsantes sólidos, ya que pueden ser conservados en depósitos adecuados para un empleo no inmediato, cosa que no ocurre con los combustibles líquidos, al ser estos muy corrosivos. Goddard también vislumbró los vuelos espaciales interplanetarios y los motores a propulsión nuclear e iónica. Sin embargo, fue Alemania la que se aplicó con mayor diligencia en el estudio de las posibilidades de los cohetes. Bajo la dirección de un joven y brillante científico, Wernher von Braun, se constituyó en 1937 un equipo de técnicos al que se confió el cometido de efectuar investigaciones sobre los cohetes por cuenta del Ejército alemán. En los laboratorios de Peenemunde, un rincón perdido en la costa del Báltico, Von Braun perfeccionó la V-2, el primer misil balístico de largo alcance, predecesor de los cohetes interplanetarios que posteriormente se desarrollarían en Estados Unidos. Al finalizar la guerra, numerosos científicos alemanes fueron hechos prisioneros o se entregaron a las fuerzas armadas de Estados Unidos, siendo muchos de ellos el núcleo del empeño estadounidense por las empresas espaciales, que culminó en 1969 con la llegada a la Luna de Edwin Aldrin y Neil Armstrong.

La Unión Soviética inició la carrera al espacio poniendo en órbita el primer satélite artificial, el *Sputnik-1*, en 1957. Los soviéticos continuaron desarrollando el vue-



El principio del motor-cohete se basa en la reacción ejercida por un gas que sale de un recipiente a presión. Este principio se manifiesta muy sencillamente con un globo lleno de aire: al soltarlo abierto, el globo se ve sometido a una suma de presiones cuya resultante lo empuja hacia adelante.

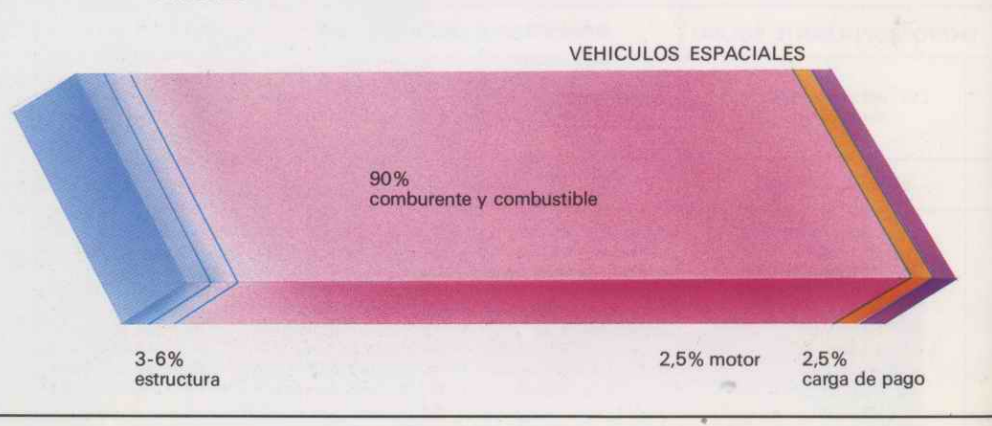
reserva para el segundo encendido del motor
adaptador
reserva de oxígeno líquido
USA
reserva de hidrógeno
sistema de propulsión auxiliar
suspensión
depósito de hidrógeno líquido
componentes de rigidez estructural

Abajo, a la derecha, se indica la relación, en la constitución de los cohetes modernos, entre las masas de la estructura, de los propulsantes y de las cargas de pago. Se trata de que la masa de pago sea lo mayor posible frente a las otras citadas. El progreso de los últimos decenios en el campo de los cohetes y de la astronáutica en general se debe no tanto a los perfeccionamientos de la química de los propulsantes y de los sistemas electrónicos como al avance en el diseño y realización de estructuras progresivamente más ligeras.

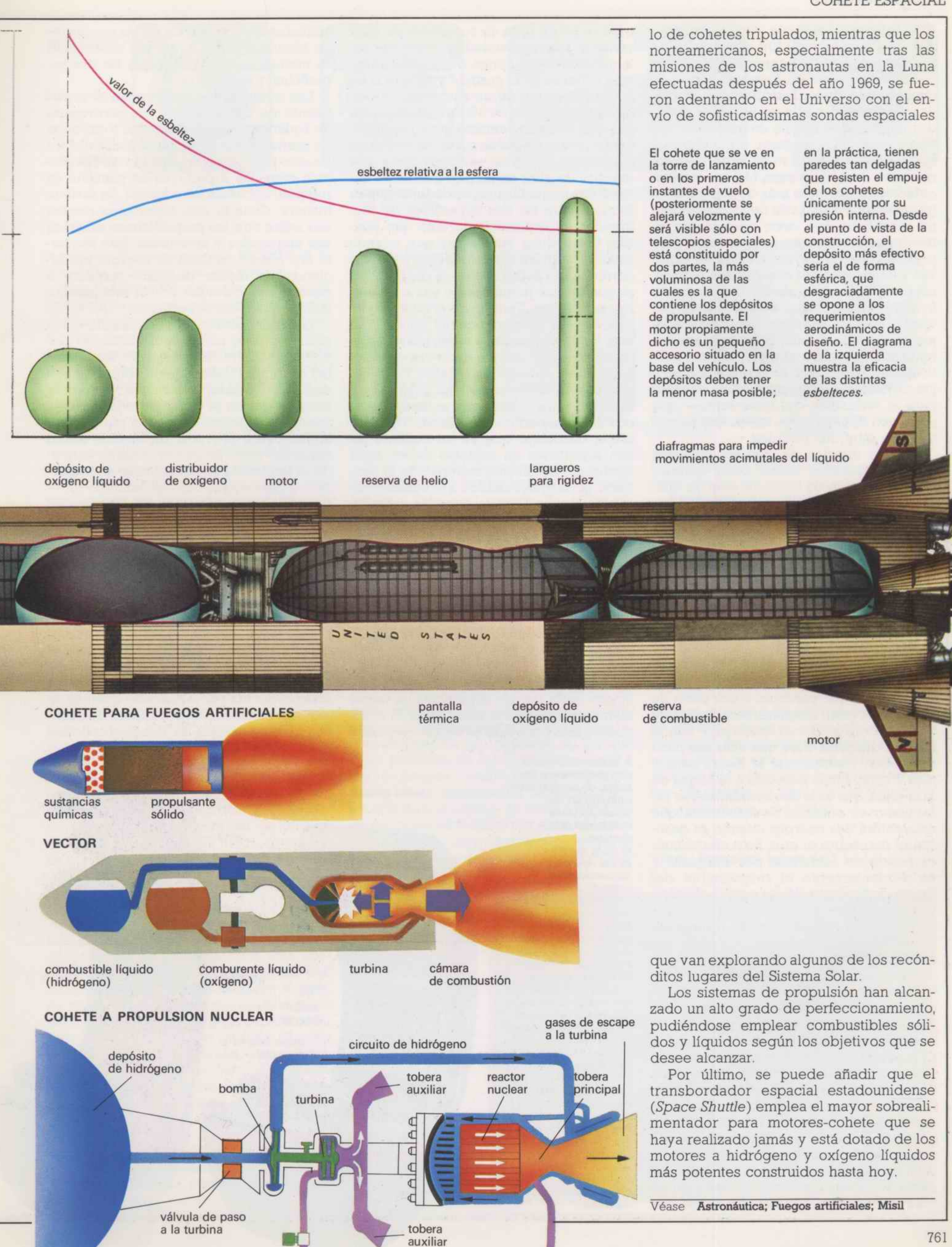
DISTRIBUCION DE LOS PESOS EN AVIONES Y VEHICULOS ESPACIALES

25-30%
estructura
45-50%
motores, equipos de control, combustible
25%
carga de pago
AVIONES

VEHICULOS ESPACIALES



lo de cohetes tripulados, mientras que los norteamericanos, especialmente tras las misiones de los astronautas en la Luna efectuadas después del año 1969, se fueron adentrando en el Universo con el envío de sofisticadísimas sondas espaciales



El cohete que se ve en la torre de lanzamiento o en los primeros instantes de vuelo (posteriormente se alejará velozmente y será visible sólo con telescopios especiales) está constituido por dos partes, la más voluminosa de las cuales es la que contiene los depósitos de propulsante. El motor propiamente dicho es un pequeño accesorio situado en la base del vehículo. Los depósitos deben tener la menor masa posible; en la práctica, tienen paredes tan delgadas que resisten el empuje de los cohetes únicamente por su presión interna. Desde el punto de vista de la construcción, el depósito más efectivo sería el de forma esférica, que desgraciadamente se opone a los requerimientos aerodinámicos de diseño. El diagrama de la izquierda muestra la eficacia de las distintas *esbelteces.*

que van explorando algunos de los recónditos lugares del Sistema Solar.

Los sistemas de propulsión han alcanzado un alto grado de perfeccionamiento, pudiéndose emplear combustibles sólidos y líquidos según los objetivos que se desee alcanzar.

Por último, se puede añadir que el transbordador espacial estadounidense (*Space Shuttle*) emplea el mayor sobrealimentador para motores-cohete que se haya realizado jamás y está dotado de los motores a hidrógeno y oxígeno líquidos más potentes construidos hasta hoy.

Véase **Astronáutica; Fuegos artificiales; Misil**

Cojinetes

El telescopio de Hale, situado en Monte Palomar, a 80 km al noroeste de San Diego, es el telescopio óptico mayor y más potente de los Estados Unidos. Es también uno de los instrumentos científicos más pesados que se hayan construido. Solamente el espejo de cristal, de una forma especial y montado en la extremidad de un tubo de 18 m de largo, tiene un diámetro de 5,1 m y pesa 14,5 tm; el telescopio completo pesa más de 500 tm. Contrariamente a la mayoría de los instrumentos científicos, éste debe permanecer en movimiento constante, aunque lento, para poder seguir las trayectorias de las estrellas y de los planetas observados. El telescopio de Hale es puesto en rotación sin dificultad por un motor eléctrico muy pequeño, cuya potencia es de aproximadamente 1/12 de caballo de vapor (equivalente, más o menos, al motor de una batidora de cocina). Esto es posible gracias a los cojinetes —elementos muy eficaces para la reducción del rozamiento— que sostienen el gigantesco telescopio permitiéndole girar con facilidad.

Existen indicios de que los cojinetes fueron empleados desde poco después de la invención de la rueda; eran ya utilizados en los carros egipcios, en los cabrestantes de los barcos de los antiguos romanos, en los ejes de los vehículos terrestres y en un sinnúmero de máquinas. La moderna civilización industrial se paralizaría prácticamente sin la ayuda de los cojinetes, ya que constituyen el apoyo insustituible de cualquier parte móvil en todo tipo de maquinaria.

Rozamiento Los cojinetes son unos elementos de la maquinaria proyectados de tal forma que permiten a una parte de la máquina girar, desplazarse y deslizarse sobre otro órgano con facilidad y con el mínimo desgaste. Para que esto sea posible deben contrarrestar la fuerza natural más común y más parecida a la fuerza de gravedad, que es la de *rozamiento*. Por rozamiento se entiende la resistencia que encuentran dos cuerpos cuando se deslizan el uno sobre el otro. Este efecto nunca puede ser eliminado por completo, y es evidentemente el responsable del eventual desgaste de las partes móviles, que con el tiempo han de ser sustituidas. La función de los cojinetes es justamente la de reducir al mínimo este inconveniente.

Las causas del rozamiento ayudan a explicar el funcionamiento de los cojinetes y la razón por la cual han sido desarrollados tantos tipos de rodamientos, específicos para distintas aplicaciones. Potentes microscopios muestran cómo hasta en una superficie reducida, de tamaño de hasta 0,0254 milésimas de milímetro, quedan todavía crestas y picos formados por cientos de miles de átomos. Cuando dos superficies de este tipo presionan la una contra la otra, ambas se tocan prácticamente sólo en las partes más altas de sus crestas. Por consiguiente, el peso de un cuerpo depositado sobre otro no se distribuye sobre toda su superficie de apoyo, sino que en realidad es sostenido solamente por las cimas de sus salientes, más o menos en la misma forma que la totalidad del peso de un automóvil es sostenido por menos de 10 dm^2 de neumáticos que están en contacto con el suelo. La fuerte presión ejercida sobre los extremos superiores de estos salientes hace que muchos de ellos se fundan o suelden entre sí. Las pequeñísimas soldaduras que se forman entre las dos superficies no sólo impiden su deslizamiento, sino que pueden llegar a ser tan fuertes que, cuando estas superficies son empujadas para que corran la una sobre la otra, se desprenden pequeñísimas partículas de una o de ambas superficies. Terminado el movimiento relativo, se forman nuevas soldaduras. Este fenómeno se llama *adhesión* y es inevitable, ya que sucede cada vez que dos superficies entran en contacto. La adhesión es una de las causas del desgaste de los elementos mecánicos o, también, de cualquier superficie deslizante. La ingeniería descubrió que en un cojinete las dos superficies en contacto deben estar fabricadas de distinto material; de lo contrario, el desgaste debido a la adhesión es mucho mayor. En este caso, las soldaduras que se forman son tan resistentes que las roturas no se producen en los mismos puntos de la soldadura, sino a una cierta profundidad por debajo de la superficie.

Los cojinetes se agrupan en dos amplias categorías, según la forma en que se oponen al rozamiento: *cojinetes de rodadura* o rodamientos y *cojinetes deslizantes* o lisos.

Rodamientos En los rodamientos se coloca entre las dos superficies un tercer elemento, que rueda entre ellas. El rodamiento más conocido es el que empezó a aplicarse en gran escala en las ruedas de las bicicletas. En este tipo de rodamiento se montan unas esferas entre las dos superficies que giran.

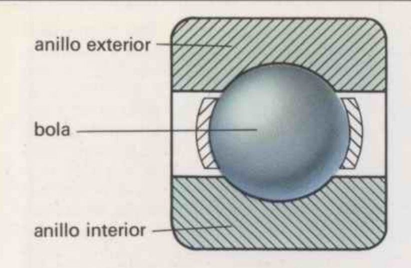
Los rodamientos transforman el movimiento de deslizamiento en movimiento de rodadura, que es uniforme y produce un menor rozamiento por adhesión. Esto sucede porque las soldaduras que se forman entre las superficies en contacto se rompen, volviéndose a formar de distinta manera. Cuando dos superficies ruedan una sobre otra, los pequeñísimos salientes son empujados y aplastados. Esto requiere una menor cantidad de energía, produciendo un menor desgaste respecto a cuando son cortados por el movimiento lateral de las dos superficies.

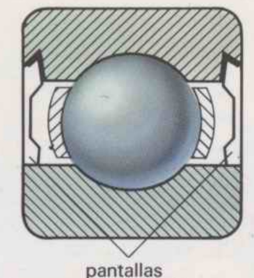
Los rodamientos reducen mucho el rozamiento pero no pueden eliminarlo por completo. Entre las crestas de los salientes se forman todavía unas pequeñas soldaduras. Además, la continua y repetida carga y descarga de la presión ejercida sobre los salientes, formados por átomos, contribuye a provocar un ulterior efecto conocido como *fatiga*. Por fatiga se entiende la tendencia de un material a romperse o a deshacerse bajo un esfuerzo repetido. Minúsculas láminas se desprenden de las superficies de soporte de los materiales afectados por la fatiga, de forma tal que, al final, las superficies se hacen irregulares y dejan de rodar de manera uniforme.

La abrasión y la corrosión son otras dos causas del desgaste que afecta a los pernos de las máquinas. La abrasión tiene lugar cuando una superficie es tan rugosa que araña la otra, de forma similar a como actúa la lija sobre madera. La corrosión está producida por la reacción química de algunas sustancias con la superficie metálica. Ambas causas de desgaste pueden

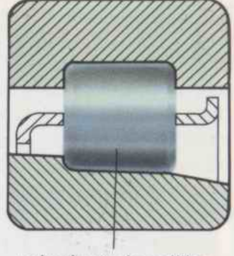


A la derecha vemos dos rodamientos de bolas, de un tipo muy utilizado en las construcciones mecánicas más dispares. El de la derecha es del tipo más corrientemente utilizado, el "rodamiento radial de una hilera de bolas". Estas ruedan entre las gargantas del anillo interior y del exterior. A la izquierda, sin embargo, vemos el "rodamiento radial de dos hileras de bolas", que posee una mayor capacidad de carga y se emplea en los casos en que las grandes fuerzas que actúan y la escasez de espacio sean motivos que prevalezcan sobre su mayor coste. El principio básico del rodamiento de bolas es transformar el rozamiento de deslizamiento en rozamiento de rodadura.





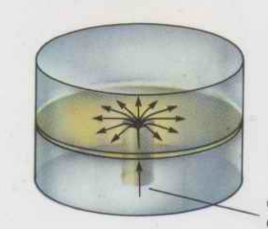
cojinete oscilante

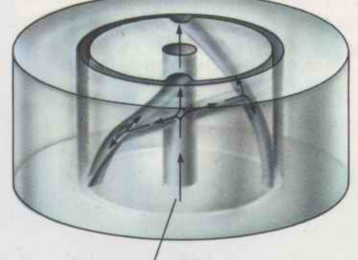


reducirse manteniendo las superficies lo más lisas y limpias que sea posible.

Los rodamientos son apropiados para muchísimas aplicaciones, como, por ejemplo: las ruedas de las bicicletas, las de los automóviles, las cajas de cambio, los motores eléctricos, etc. Cuando se necesita una gran duración a bajo coste, es preferible generalmente utilizar otro tipo de cojinete, el liso o deslizante.

Arriba, de izquierda a derecha, vemos, seccionados en su periferia: un rodamiento radial de una hilera de bolas; otro igual, pero con retención de la grasa que contiene; un tercero, oscilante, de dos hileras de rodillos; y otro, el último, de rodillos cilíndricos. Al lado, dos cojinetes de gas: a la izquierda, de empuje, y a la derecha, radial.





Cojinetes lisos En este tipo de cojinete no se interpone ningún elemento rotante, y la superficie móvil está circundada por la superficie fija; entre los dos elementos hay un lubricante, generalmente aceite. Un cojinete liso utilizado comúnmente es el que se monta entre el cigüeñal y la biela que conecta el émbolo en el motor del automóvil.

La parte móvil cilíndrica, llamada *perno de rotación*, gira en el interior de un casquillo metálico, llamado *cojinete*, que envuelve y sostiene dicho perno. Para reducir la adhesión entre las dos superficies se introduce una fina capa de lubricante.

Los cojinetes lisos pueden subdividirse en tres categorías, según la forma en la cual sostienen su carga. Si esta carga empuja el perno a lo largo de su eje, como, por ejemplo, un pilar que aguanta el peso del techo, tendremos un *cojinete de empuje axial*. Si la carga es perpendicular al eje del perno, como, por ejemplo, en los ejes de un vagón de ferrocarril, entonces tendremos un *cojinete radial*. La tercera modalidad es un *cojinete mixto*, compuesto por uno radial más otro de empuje y que puede aguantar las cargas en ambas direcciones.

Cojinetes automáticos, lubricados a presión y autolubricados Si el perno de un cojinete radial no está girando, éste apoya directamente sobre el cojinete. Sin embargo, cuando el perno empieza a girar, su movimiento pone en circulación parte del lubricante existente en la superficie inferior entre el perno y el cojinete. Cuando la velocidad de rotación aumenta, el lubricante actúa como una cuña y despega completamente el perno del cojinete. De esta forma el perno queda suspendido, es decir, "flota" sobre la capa de aceite y gira con mayor facilidad y con menor rozamiento que cuando estaba girando directamente sobre el cojinete. Este tipo de cojinete es conocido como *cojinete automático*.

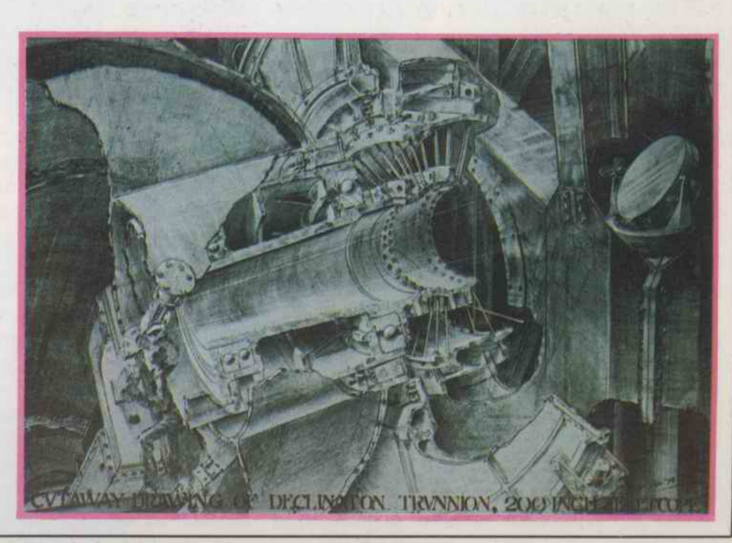
Si el perno de rotación no gira lo bastante rápido, no tendrá lugar el efecto automático. Este efecto puede obtenerse enviando aceite a presión desde el exterior, motivo por el que tal tipo de cojinete se llama *lubricado a presión*; los cojinetes que sostienen el telescopio de Hale están construidos así.

En muchos casos es imposible o desaconsejable utilizar aceite como lubricante: así sucede, por ejemplo, cuando la maquinaria debe funcionar a temperaturas muy altas o muy bajas, en las cuales el aceite herviría o bien se congelaría. Además, en muchos casos hay pérdidas de aceite aunque el cojinete haya sido cuidadosamente proyectado para evitar este inconveniente. En las industrias en las que estas pérdidas de lubricante dan lugar a graves riesgos —como, por ejemplo, en la relativa a la preparación de alimentos o en la industria textil— se evita el empleo de cojinetes lubricados por aceite. El aceite, además, se descompone en presencia de algunos tipos de radiaciones, razón por la cual no puede ser utilizado en los cojinetes de los reactores nucleares.

Recientemente han sido realizadas experiencias empleando un gas —aire por ejemplo— como lubricante. El aire presenta la ventaja de ser limpio, fácilmente obtenible y de no contaminar ni el producto ni la atmósfera. Muchos investigadores han empezado a realizar experiencias con cojinetes que utilizan el aire para obtener la completa separación de las superficies entre las cuales circulaba generalmente aceite, como es el caso de los cojinetes automáticos lubricados.

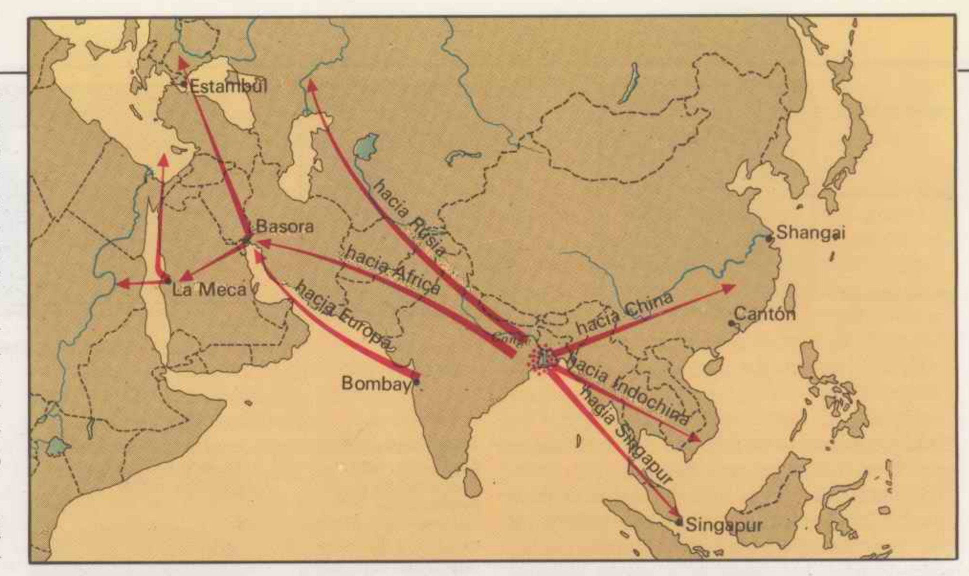
Cierto éxito se ha conseguido también con los cojinetes de ranuras helicoidales. En dichos cojinetes, unas ranuras poco profundas interponen al empuje rotatorio un cojinete de aire bastante consistente alrededor del perno, que logra hacerle "flotar", de una forma similar a los rodamientos automáticos lubricados.

Véase **Rozamiento, fuerzas de**



En la imagen de la derecha vemos un gran telescopio montado sobre cojinetes.

Cólera



El término *cólera*, de origen latino, significa etimológicamente "enfermedad biliar", lo que resulta adecuado a los síntomas de tal enfermedad. Entre sus aspectos más dramáticos encontramos, ante todo, la diarrea aguda y dolorosa y la rapidez con que acaba con la vida de las víctimas en las que no se consigue atajar el mal.

En el año 1832, durante la primera epidemia norteamericana de cólera, en Chester se mataba a las personas sospechosas de portar la enfermedad; en Ypsilanti, Michigan, la milicia local disparaba a los coches de postas que provenían de Detroit, azotada por el cólera.

Las causas Durante muchos años, el cólera fue considerado, junto con las plagas de langostas a las que se refiere la *Biblia*, como uno de los modos mediante los cuales Dios castigaba a los malvados. Para algunos esta creencia se veía reforzada por el hecho de que la enfermedad afectaba, con mucha frecuencia, las zonas miserables y sórdidas, donde las condiciones higiénicas eran peores. Sin embargo, en 1883, Robert Koch, tras una expedición científica a Egipto, demostró que la enfermedad era provocada por una bacteria con forma similar a una coma, que denominó *vibrión*.

difusión desde las zonas endémicas

contaminación: de aguas o de alimentos infectados por *Vibrio cholerae*

incubación: de 6 a 48 horas

Estas bacterias colonizan el intestino delgado y liberan una toxina que obliga a las células intestinales a la pérdida de electrolitos. De ese modo se forma una solución acuosa que contiene bicarbonato y cloruro unidos a iones de sodio y de potasio. Esta solución se elimina del organismo en forma de diarrea diluida y aguda, denominada "heces en agua de arroz". Los enfermos de cólera pierden de ese modo el equivalente a un litro de agua cada hora, corriendo un galopante y grave riesgo de deshidratación.

Los síntomas de la deshidratación grave son los siguientes: la pérdida del color y de la elasticidad cutáneas, la contracción de los globos oculares, una disminución del contenido acuoso de la sangre y el colapso. Para compensar la disminución del volumen sanguíneo, el corazón late más velozmente, acelerando la circulación sanguínea; al mismo tiempo se incrementa el ritmo de la respiración, debido a la acidosis (exceso de ácido en la sangre) producida por la pérdida de bicarbonato (una base) en las heces. Las víctimas del cólera llegan a encontrarse muy débiles a causa de la pérdida de electrolitos y del descenso de la presión sanguínea originados por la deshidratación. El vómito y los dolores de estómago forman parte también de la sintomatología del cólera.

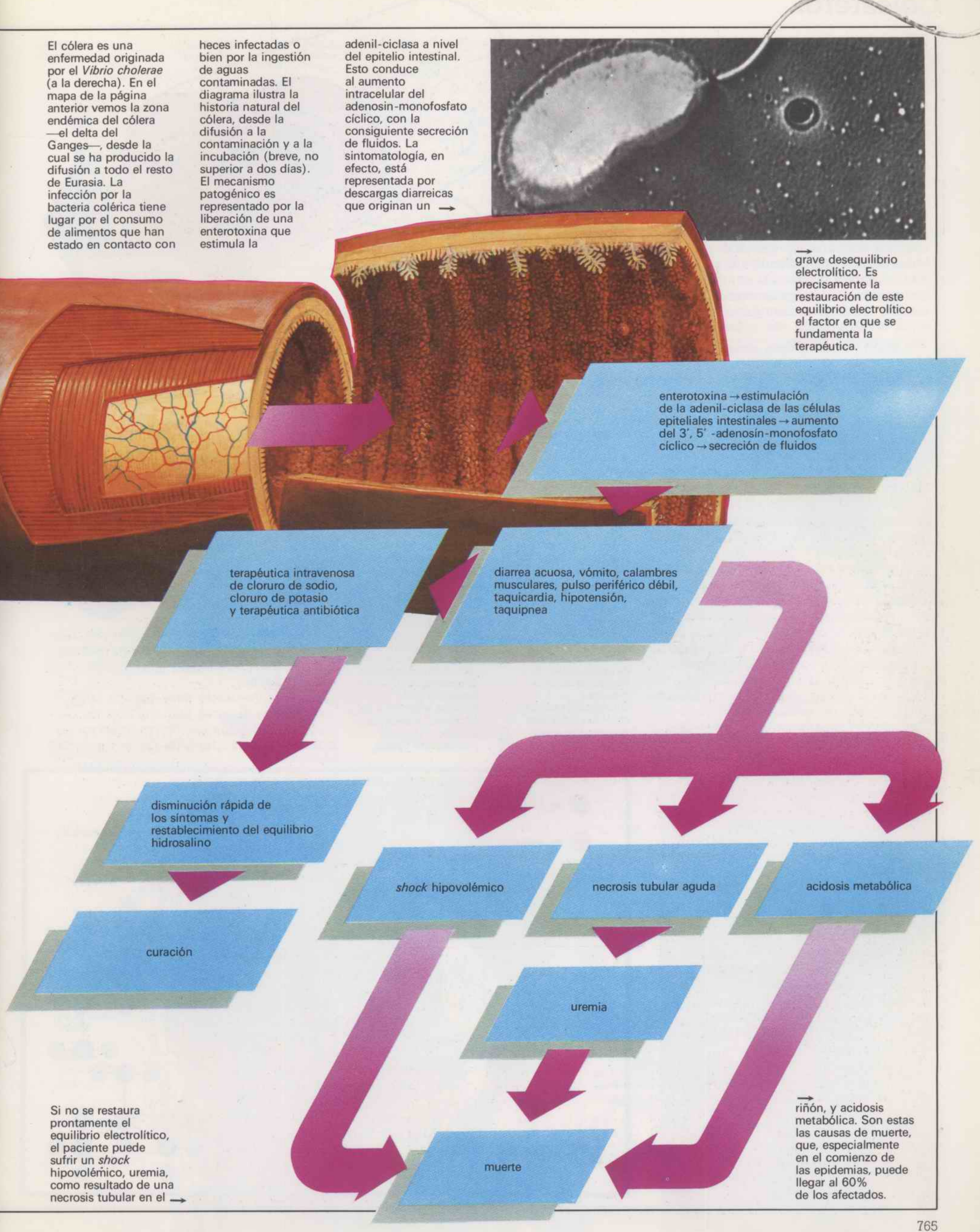
El *vibrión* se transmite a través del agua contaminada, alimentos y materia fecal: todos estos factores están generalmente unidos a condiciones de vida poco higiénicas. En 1854, durante una epidemia en Londres, el médico John Snow estableció que el cólera podría ser transmitido por el agua. En aquel tiempo existían dos sociedades que abastecían de agua a la ciudad, la Lambeth y la Southwark-Vauxhall. La primera de ellas recogía el agua del alto Támesis, mientras que la segunda utilizaba el agua del curso bajo del río, en el cual vaciaban las cloacas. La correlación entre afectados por cólera y los clientes de la Southwark-Vauxhall proporcionó la prueba de la teoría que Snow había formulado a finales de 1849.

Diagnóstico y tratamiento En general, el diagnóstico del cólera se basa directamente en la presencia de los síntomas anteriormente descritos. Cuando es visitado por primera vez, el paciente afectado de cólera presenta un aspecto típico, caracterizado por un color cianótico, abdomen muy "excavado", escasa turgencia cutánea y pulso periférico tembloroso o francamente ausente. El tono de voz es débil, más bien agudo, y a menudo inaudible. Otros signos son la taquicardia, un estado de hipotensión y de taquipnea. Dado que una persona puede morir fácilmente si no recibe tratamiento inmediato, raramente se tiene el tiempo necesario para un análisis de laboratorio; sin embargo, el *vibrión* puede frecuentemente identificarse con el microscopio. Mediante técnicas de aglutinación con antisueros específicos pueden obtenerse clasificaciones ulteriores, en ausencia de un inmediato hallazgo del vibrión. El vibrión tiene la forma de una coma, presenta una pequeña cola y es móvil. Se pueden realizar análisis definitivos, como la puesta en un cultivo (crecimiento de la bacteria en el laboratorio) de las heces del paciente, o añadiendo anticuerpos contra la bacteria en un preparado de heces; si los anticuerpos se agregan alrededor de la bacteria, queda confirmada su identificación como *vibrión*.

El aspecto más inmediato e importante en el tratamiento del cólera es el restablecimiento del líquido y de los electrolitos. Solamente esta actuación terapéutica basta para reducir la tasa de mortalidad del 60% hasta cerca del 20% (teóricamente, ninguno debería morir con la introducción de líquidos en cantidad suficiente, pero las víctimas del cólera se encuentran frecuentemente en condiciones de salud general muy debilitadas). A los pacientes capaces de deglutir se les administra una solución de agua, azúcar, bicarbonato y sales de potasio. A los enfermos que no pueden deglutir se les administra esa misma solución por vía intravenosa. Habitualmente, la curación tarda dos o tres días. El antibiótico tetraciclina puede abreviar el transcurso de la enfermedad. Se pueden llevar a cabo vacunaciones, y con frecuencia se aplican éstas a viajeros que se dirigen a ciertas regiones donde el cólera está difundido; pero la vacuna no es eficaz al 100% y la inmunización dura solamente unos seis meses.

Una forma similar al cólera es la enfermedad causada por la enterotoxina producida por la bacteria *Escherichia coli*; también en este caso se lleva a cabo una terapéutica basada en el restablecimiento de los niveles hídricos del organismo.

Véase **Enfermedades infecciosas**



El cólera es una enfermedad originada por el *Vibrio cholerae* (a la derecha). En el mapa de la página anterior vemos la zona endémica del cólera —el delta del Ganges—, desde la cual se ha producido la difusión a todo el resto de Eurasia. La infección por la bacteria colérica tiene lugar por el consumo de alimentos que han estado en contacto con heces infectadas o bien por la ingestión de aguas contaminadas. El diagrama ilustra la historia natural del cólera, desde la difusión a la contaminación y a la incubación (breve, no superior a dos días). El mecanismo patogénico es representado por la liberación de una enterotoxina que estimula la adenil-ciclasa a nivel del epitelio intestinal. Esto conduce al aumento intracelular del adenosín-monofosfato cíclico, con la consiguiente secreción de fluidos. La sintomatología, en efecto, está representada por descargas diarreicas que originan un → grave desequilibrio electrolítico. Es precisamente la restauración de este equilibrio electrolítico el factor en que se fundamenta la terapéutica.

Si no se restaura prontamente el equilibrio electrolítico, el paciente puede sufrir un *shock* hipovolémico, uremia, como resultado de una necrosis tubular en el → riñón, y acidosis metabólica. Son estas las causas de muerte, que, especialmente en el comienzo de las epidemias, puede llegar al 60% de los afectados.

Colesterol

El colesterol es un compuesto químico de importancia vital para nuestro organismo. Se produce en el cuerpo humano y está presente también en el organismo de numerosas especies animales. Forma parte de la estructura de multitud de órganos: está presente, por ejemplo, en el cerebro, en el corazón, en los riñones, en la piel y en el hígado.

Por otro lado, el colesterol viene siendo considerado como un factor causal de primer orden en la génesis de enfermedades cardiacas y circulatorias, debido a que una acumulación excesiva en las arterias origina un obstáculo a la circulación de la sangre y provoca la arteriosclerosis, con el consiguiente endurecimiento de las arterias. De este hecho deriva, por lo tanto, la consideración del colesterol como una sustancia temible.

El colesterol y el organismo El hombre y otras especies animales que se alimentan tanto de carne como de vegetales no asimilan todo el colesterol recibido a través de la alimentación, mientras que los animales herbívoros (por ejemplo, los conejos y los ciervos) lo asimilan más fácilmente.

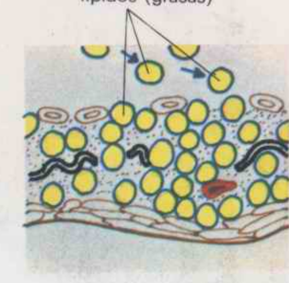
Independientemente del hecho de que se ingieran en la dieta alimentos que contienen colesterol, el organismo es capaz de producir esta sustancia (en el hígado) y, como consecuencia de ello, debe encontrar la manera de utilizarla y de eliminarla. El colesterol se elimina del organismo fundamentalmente siguiendo dos vías: a través de la secreción biliar (un fluido necesario para la digestión y absorción de las grasas, segregado por el hígado) o bien, en cantidad mucho más exigua, a través de la pared del intestino delgado.

El colesterol puede originar la formación de cálculos biliares; el nivel de colesterol en la sangre puede indicar trastornos en el metabolismo, es decir, en el conjunto de las reacciones químicas que regulan la energía para el crecimiento, la renovación y el mantenimiento del organismo. En los casos de cirrosis o de hepatitis, enfermedades hepáticas ambas, el nivel de colesterol en el plasma sanguíneo se encuentra por debajo de lo normal; en el caso de hipotiroidismo, el nivel de dicha sustancia es más alto.

El colesterol es un constituyente fundamental de las membranas biológicas: junto con los glicéridos y los fosfolípidos forma la hoja lipídica de la membrana, a través de la cual la célula se relaciona con el medio en que vive, de ahí que las sustancias que afectan negativamente al colesterol perjudiquen también la propia estructura celular.

Aunque todavía no se conozca de manera completa la función del colesterol en el organismo, es importante recordar que la concentración de esta sustancia en los tejidos de órganos o elementos vitales, como el cerebro y los nervios, demuestra que debe desempeñar un papel prácticamente decisivo en el mantenimiento de nuestra eficiencia física.

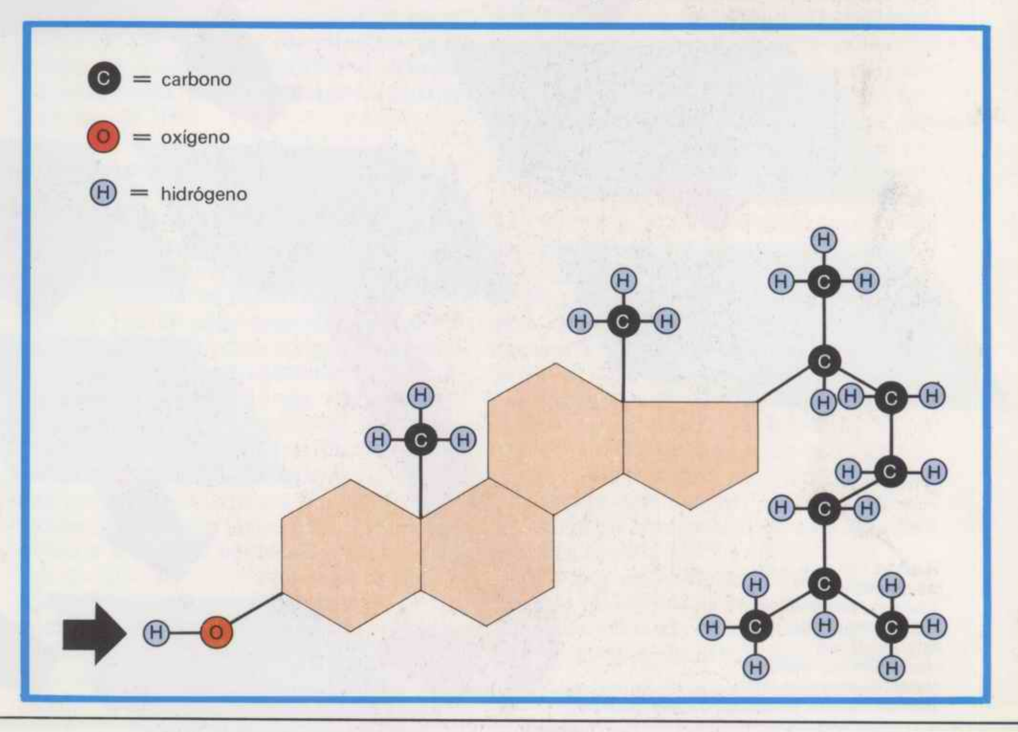
arteria
luz de la arteria
vasa vasorum
pared de la arteria
fragmento sometido a examen



El colesterol está normalmente presente en el organismo, ya que es ingerido con algunos alimentos y es sintetizado por el hígado. La tasa de colesterol en el plasma sanguíneo varía de hecho en los casos de afección hepática. El exceso de colesterol, unido a ácidos grasos (además de lípidos y glúcidos), es el principal responsable del proceso de arteriosclerosis que frecuentemente afecta a las arterias de mediano y grueso calibre. Las lesiones arterioscleróticas pueden limitar o anular la permeabilidad de la *luz* arterial en la que se forman, originando una insuficiente irrigación sanguínea por disminución del flujo de sangre, o incluso una completa interrupción de la circulación. Arriba y a la derecha (entre ambas páginas), esquema de la formación de un proceso arteriosclerótico. Si abundan las grasas que circulan en la sangre, invaden la pared arterial infiltrándose en profundidad (abajo y a la derecha). Las grasas pueden ser eliminadas a través de los pequeños vasos que irrigan la pared de la arteria (*vasa vasorum*). Si la eleminación es insuficiente, las grasas se acumulan y se forma una placa que disminuye gradualmente la luz de la arteria hasta ocluirla. La lesión arteriosclerótica puede experimentar una ulterior degeneración provocando una ulceración en la túnica íntima. En la página siguiente: abajo y a la izquierda, esquema de formación de una ulceración, que puede observarse en la fotografía de la derecha; sobre ella, en el centro, cristales de colesterol vistos al microscopio óptico.

Colesterol y enfermedad Resulta difícil hablar del colesterol sin hacer referencia a la arteriosclerosis y a las enfermedades cardiacas.

Se conoce desde hace tiempo la relación existente entre una alta tasa de colesterol y la acumulación de grasa en las arterias, que produce un estrechamiento

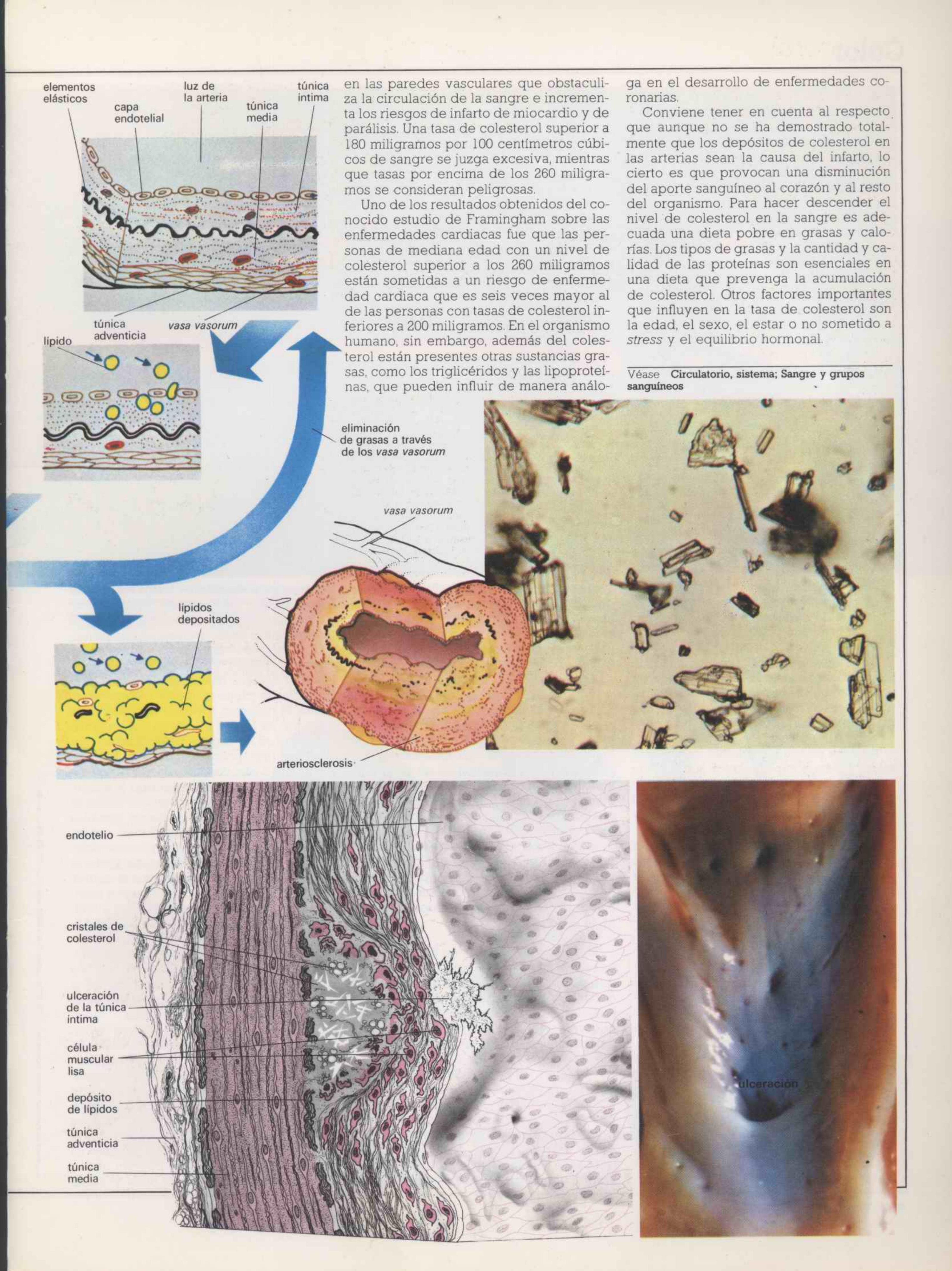


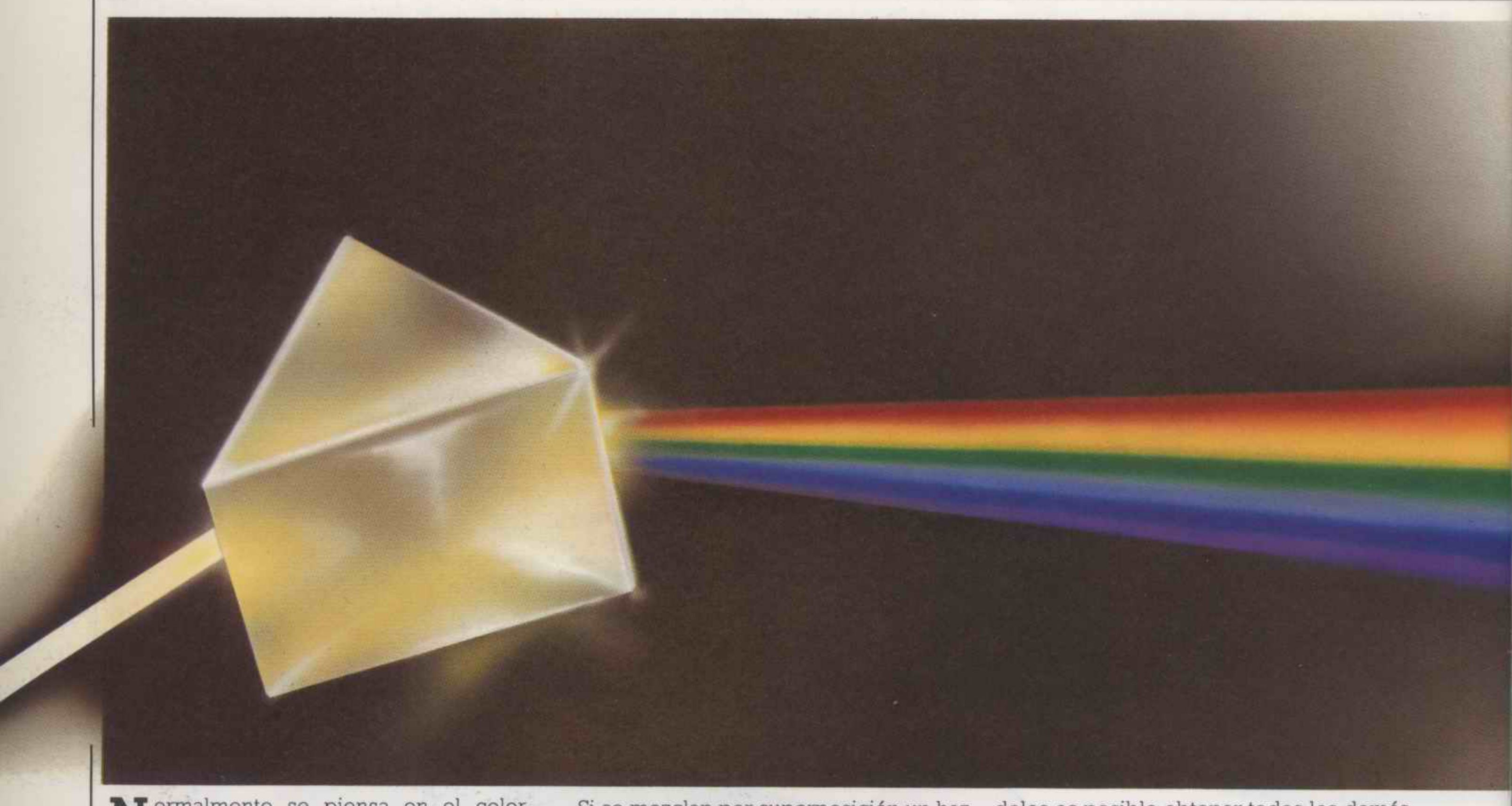
en las paredes vasculares que obstaculiza la circulación de la sangre e incrementa los riesgos de infarto de miocardio y de parálisis. Una tasa de colesterol superior a 180 miligramos por 100 centímetros cúbicos de sangre se juzga excesiva, mientras que tasas por encima de los 260 miligramos se consideran peligrosas.

Uno de los resultados obtenidos del conocido estudio de Framingham sobre las enfermedades cardiacas fue que las personas de mediana edad con un nivel de colesterol superior a los 260 miligramos están sometidas a un riesgo de enfermedad cardiaca que es seis veces mayor al de las personas con tasas de colesterol inferiores a 200 miligramos. En el organismo humano, sin embargo, además del colesterol están presentes otras sustancias grasas, como los triglicéridos y las lipoproteínas, que pueden influir de manera análoga en el desarrollo de enfermedades coronarias.

Conviene tener en cuenta al respecto que aunque no se ha demostrado totalmente que los depósitos de colesterol en las arterias sean la causa del infarto, lo cierto es que provocan una disminución del aporte sanguíneo al corazón y al resto del organismo. Para hacer descender el nivel de colesterol en la sangre es adecuada una dieta pobre en grasas y calorías. Los tipos de grasas y la cantidad y calidad de las proteínas son esenciales en una dieta que prevenga la acumulación de colesterol. Otros factores importantes que influyen en la tasa de colesterol son la edad, el sexo, el estar o no sometido a *stress* y el equilibrio hormonal.

Véase **Circulatorio, sistema; Sangre y grupos sanguíneos**





Normalmente se piensa en el color como un elemento más de la realidad: el cielo es azul, la hierba es verde, aquel objeto está pintado de rojo. En realidad el color es algo mucho más fascinante: es nuestra forma de percepción de la luz. Sin luz no existe color: un vestido de color naranja brillante en un cuarto oscuro no tiene color, parece negro. Pero si lo iluminamos con un haz de luz blanca, el color aparece con todos sus matices.

Aunque desde hace miles de años se están haciendo experimentos sobre el color, el descubrimiento de que el color es luz es bastante reciente. En realidad es energía luminosa con diferentes longitudes de onda e intensidades relativas.

Isaac Newton descubrió esto hace más de trescientos años cuando, valiéndose de un prisma óptico, descompuso un rayo de sol en los colores del arco iris (que son los que forman el espectro del color) y posteriormente los volvió a reunir, formando nuevamente luz solar blanca, colocando un segundo prisma en la trayectoria de los rayos refractados por el primero. El experimento de Newton provocó un gran alboroto en el mundo científico, porque hasta entonces se había creído que los colores eran propiedades físicas de los cuerpos, que los poseían de forma permanente o que los adquirían al ser pintados con sustancias obtenidas mezclando algunos pigmentos, como hacían los pintores.

Naturalmente cualquiera puede obtener pintura verde partiendo de pintura azul y mezclándola con pintura amarilla. Pero es falso deducir de esta observación que el color es un factor físico como puede serlo un pigmento.

Si se mezclan por superposición un haz de luz roja y uno de luz verde, producirán luz amarilla; pero el amarillo no se puede obtener mezclando un pigmento rojo y uno verde. Esta mezcla da un color como el del barro.

Para entender este fenómeno es necesario retornar a la premisa inicial: el color es luz. La visión de un color cualquiera depende de tres factores correlacionados: la luz, el objeto iluminado y la forma en que lo perciben nuestros ojos. Un ejemplo sencillo: la luz que se refleja en un charco de agua sobre una calle asfaltada hace que el charco parezca negro. Pero si echamos una cucharadita de queroseno aparecerán en el charco los colores del arco iris. Esto ocurre porque el queroseno forma sobre el agua una película extremadamente fina y las variaciones de espesor de esta película producen colores diferentes al descomponer la luz en varias longitudes de onda.

El secreto del color La luz solar blanca está constituida por longitudes de onda que varían a lo largo de todo el espectro, desde el ultravioleta hasta el infrarrojo, alrededor de una longitud de onda visible que va de los 380 a los 720 manómetros (un manómetro, usado como medida de las longitudes de onda de la luz, equivale a 10^{-9} metros). Un prisma de cristal aminora el paso de la luz a través de él y la descompone en intervalos de longitud de onda distinta, cada una de un color diferente, tal y como si se tratase de un diamante tallado.

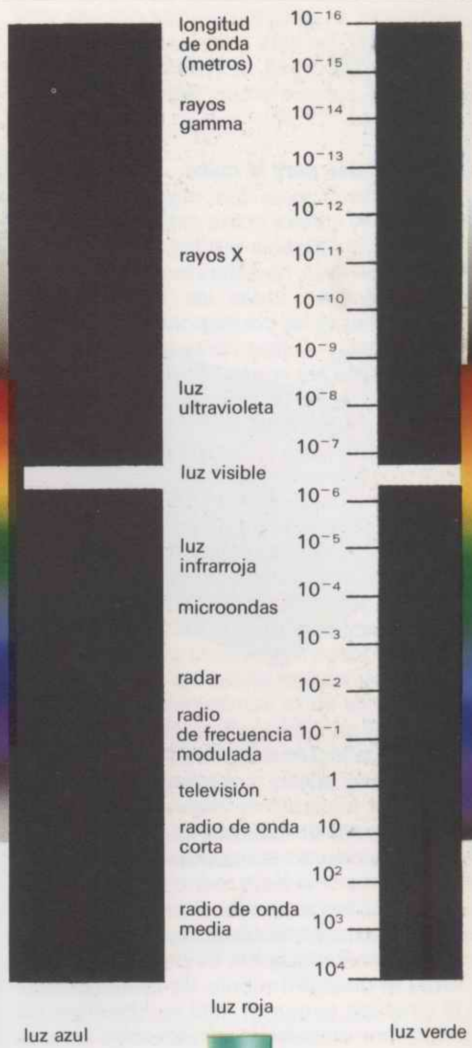
El azul, el amarillo y el rojo se definen como *colores primarios* porque mezclándolos es posible obtener todos los demás. Sin embargo, estos colores primarios no se pueden obtener mezclando los otros colores. La mezcla de los colores primarios, formando distintas combinaciones, permite obtener todos los colores. Para obtener colores determinados en la producción de pinturas, tintes y otros materiales, la cantidad a utilizar de cada color primario se indica mediante unos valores a los que se ha llegado basándose en mediciones muy precisas realizadas bajo luz estándar (o sea, con valores convencionales de la luz), para así garantizar la ausencia de variaciones entre partidas distintas.

El número de combinaciones posibles entre los tres colores primarios es casi infinito. Pero de esas múltiples combinaciones posibles, los fabricantes de pinturas seleccionan un número mayor o menor, que una vez definidos le permiten fabricar fácilmente sucesivos colores idénticos. Artistas como Leonardo da Vinci, Miguel Angel o Vermeer preparaban los colores a ojo, pero la producción de pinturas a gran escala no permite la adopción de este método, pues la visión del color es subjetiva y dos personas no perciben el mismo color de idéntica forma.

¿Cómo y por qué un pigmento determina un color? Su color está determinado por la forma en que transmite, refleja o absorbe la luz. Algunos materiales transmiten o reflejan sólo ciertas longitudes de onda: por ejemplo, las correspondientes a la región del azul y del amarillo. Todas las otras longitudes de onda se absorben, de manera que el único color que aparece es el verde. Otros materiales pueden absorber distintas longitudes de onda y, como

El color es la sensación producida en el ojo y en el cerebro por la recepción de radiaciones luminosas compuestas por distintas longitudes de onda. Entre las radiaciones emitidas por el Sol y que llegan a la superficie de la Tierra, son particularmente abundantes aquéllas que forman una mezcla en la que están comprendidas longitudes de onda entre 0,4 y 0,7 micrómetros. La mezcla de todas estas radiaciones es la que provoca en nosotros la sensación del blanco. Si se hace pasar un fino haz de dichas radiaciones a través de un prisma de cristal, las distintas propiedades de refracción de cada una de ellas hacen que se desvíen según ángulos diferentes, pudiéndose así observar por separado cada uno de los componentes del blanco. Su presentación según una secuencia que va desde el rojo hasta el violeta constituye el *espectro* del arco iris. A la derecha, se ve la clasificación de los colores del arco iris, con la longitud de onda de cada uno.

El principio en base al cual se descompone aquí la luz es el que se aplica en los instrumentos con los que se efectúa la medida del color: se descompone la luz coloreada con un prisma o con un retículo de difracción y se mide la distinta proporción, en la mezcla, de cada radiación de diferente longitud de onda.



Varios métodos de síntesis para obtener el color. Abajo, a la izquierda, objetos coloreados vistos en ausencia de uno de los tres componentes de color base, con cuya mezcla se obtiene toda la gama de los colores naturales. En imprenta, los colores se obtienen mediante la parcial superposición de manchitas de color muy pequeñas. Se trata de un caso intermedio entre la llamada síntesis cromática aditiva y la sustractiva. Con la sustractiva, un color se obtiene gracias al paso de la luz a través de dos estratos coloreados; con la aditiva, a la derecha, por medio de la superposición de las luces.

iluminados con luz azul verdosa (cyan)





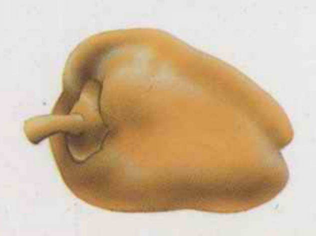


iluminados con luz verde amarillenta

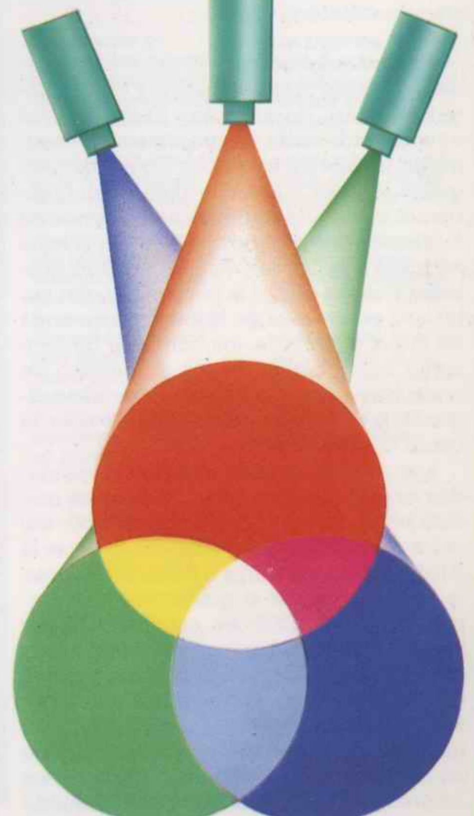


iluminados con luz roja azulada (magenta)









resultado, se obtienen varios colores visibles. Como en este caso las longitudes de onda se absorben, o sustraen, este fenómeno se conoce como *síntesis cromática sustractiva*.

Moléculas para el color Lo mismo se puede decir para los pigmentos cuyas moléculas actúan como substractoras. Por ejemplo, las plantas verdes contienen clorofila, que está constituida por moléculas que absorben todas las longitudes de onda excepto las correspondientes al azul, y al amarillo. Como consecuencia, la clorofila *refleja luz verde*. El verde puede variar porque las longitudes de onda de la luz no siempre se absorben regular o completamente; esto significa que nuestros ojos perciben distintas tonalidades de verde. Las moléculas de los pigmentos de la pintura se encuentran en suspensión en un disolvente transparente, como el agua o el aceite de linaza; en este caso la absorción puede ser mucho más precisa.

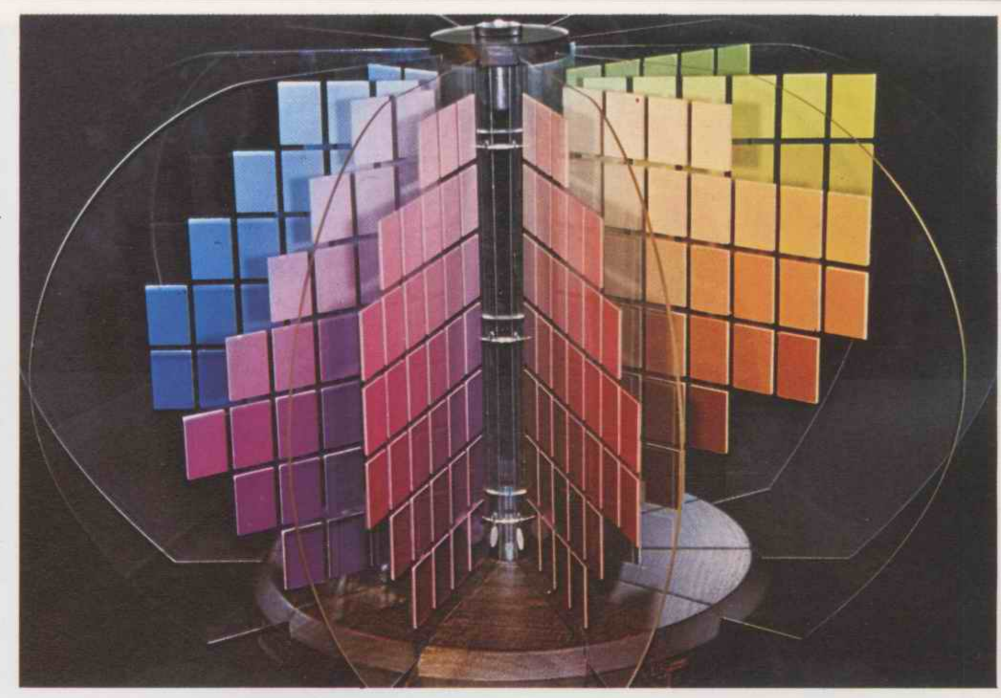
Otro sistema para mezclar los colores es el proceso de *síntesis cromática aditiva*, con el que se obtienen varios efectos cromáticos en la iluminación teatral, cinematográfica y fotográfica. En este caso, la luz pasa a través de filtros coloreados. Naturalmente, el azul y el amarillo se pueden usar por separado o superpuestos; si se superponen, obtenemos el color verde. El verde puede tener tonalidades que se diferencian por la luz y la intensidad. Si a dicha combinación se le añade el tercer color primario, es decir, el rojo, se obtendrá como resultado la luz blanca, lo que confirma el descubrimiento de Isaac Newton. El proceso según el cual se obtienen las imágenes en la televisión en color se basa en este mismo principio.

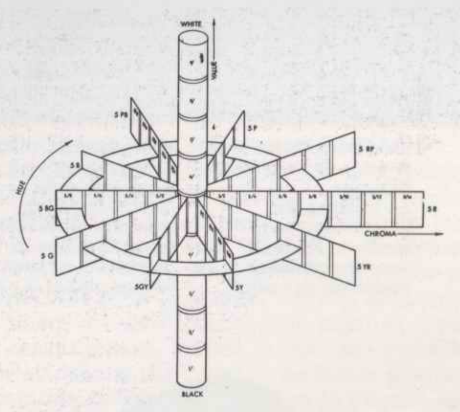
La visión del color El color sólo pueden verlo los seres humanos y un restringido número de animales. Entre los que ven el color están los primates, las mariposas, las abejas, los peces, los anfibios, algunos reptiles y algunas aves. En el hombre, el color lo perciben unos órganos en forma de cono situados en la retina, la zona sensible a la luz que está en la parte posterior del ojo. Como la percepción del color está en función de la longitud de onda de la luz absorbida, los conos se definen como absorbentes de las longitudes de onda. Hay personas a las que les faltan algunos o todos los conos, siendo ésta la causa del daltonismo.

Los colores poseen algunas propiedades importantes en relación con las modalidades de percepción. El aspecto del color en sí se llama *cromaticidad*. Para la fabricación de pinturas o tintes de colores, la cromaticidad se suele expresar en forma de valores estándar, establecidos por la Comisión Internacional de Iluminación.

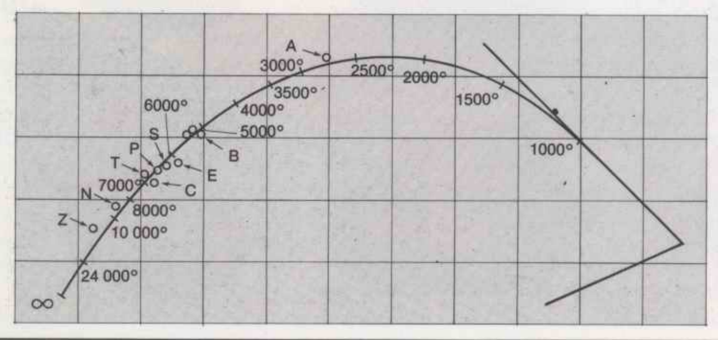
El sistema para establecer los valores estándar de color se denomina *colorimetría* y se fundamenta en la utilización de los tres colores primarios. La colorimetría se basa en la observación objetiva de los colores mediante un instrumento, llamado *espectrofotómetro*, que compara la intensidad de una muestra con la intensidad de un modelo estándar que refleja todos los colores de la misma manera.

Otra propiedad del color que es necesario definir para conseguir su exacta reproducción es la *luminancia*, es decir, la intensidad con la que el color refleja la luz.



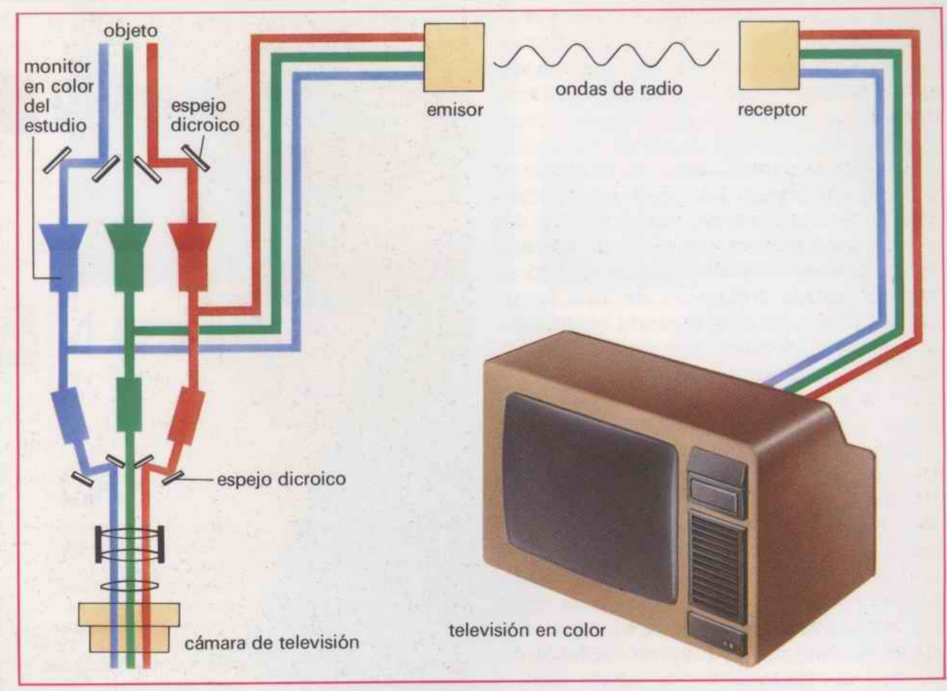


Arriba, el árbol del color y su estructura. Este sirve para suministrar una clasificación de los colores y la construcción de un catálogo de tintes base para comparaciones. A lo largo del tronco central tenemos la escala de los grises, desde el negro, abajo, al blanco, arriba. Haciéndolo girar, se obtiene, en sentido horizontal, variación de croma, es decir, de verdadero color. Pero a lo largo de cada rama el color relativo está subdividido en muchos cuadritos, en cada uno de los cuales está tanto más mezclado con el gris cuanto más cercano se encuentra al eje del tronco. Se pueden asignar ciertas coordenadas a la posición de cada cuadrito y obtener así una medida del color. En la página de enfrente, arriba, la toma de colores con una cámara de televisión. El haz de luz proveniente del objeto se divide en tres y cada uno de los haces resultantes es filtrado y observado por un tubo de toma: las señales recomponen el color en la recepción por el monitor.



Hay muchas clases de color blanco, ya que su definición no es unívoca, como vemos en este diagrama de cromaticidad, donde los puntos en blanco representan temperaturas correspondientes a la radiación del cuerpo negro. La curva parte de los azules en los que están contenidos los blancos y va hacia el rojo espectral.

Esta se puede determinar también, en conformidad con la iluminación estándard, mediante el espectrofotómetro. Junto a la cromaticidad, la luminancia define, por ejemplo, el grado de diferenciación existente entre un acabado brillante y uno mate de un mismo color dado.

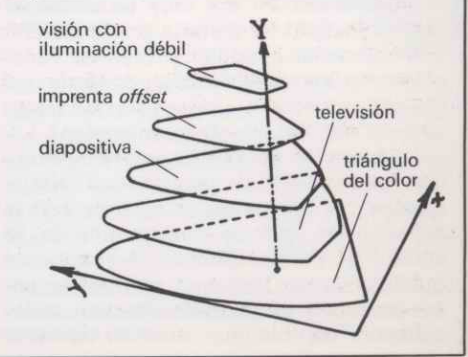


Luminosidad, tono y saturación Los colores se definen generalmente en términos de luminosidad, tono y saturación. Un color luminoso es intenso y refleja mucha luz. El tono o *croma* es función de la longitud de onda, siendo las longitudes de onda llamadas *dominantes* las correspondientes al rojo, naranja, amarillo, azul y violeta. Entre las longitudes de onda dominantes hay numerosos tonos de transición, según cual sea la forma en que se han mezclado los colores. La saturación de un color es la medida de su cantidad de blanco; por ejemplo, el rosa está formado por una mezcla de rojo y de blanco. Lo opuesto a los colores pastel son los colores saturados como el marrón, que contiene una pequeña cantidad de blanco y refleja poca luz. Los colores más oscuros, los más saturados, no contienen blanco. En el campo industrial, es de extrema utilidad la codificación por colores, o sea, la identificación basándose en el color de un objeto o de un componente. Este sistema puede ahorrar una cantidad incalculable de tiempo y de trabajo, por ejemplo, en el cableado de una instalación, en la industria electrónica, o en el trazado de las tuberías en la complicada red hidráulica de una planta química.

Véase **Colorantes; Luz; Impresión**

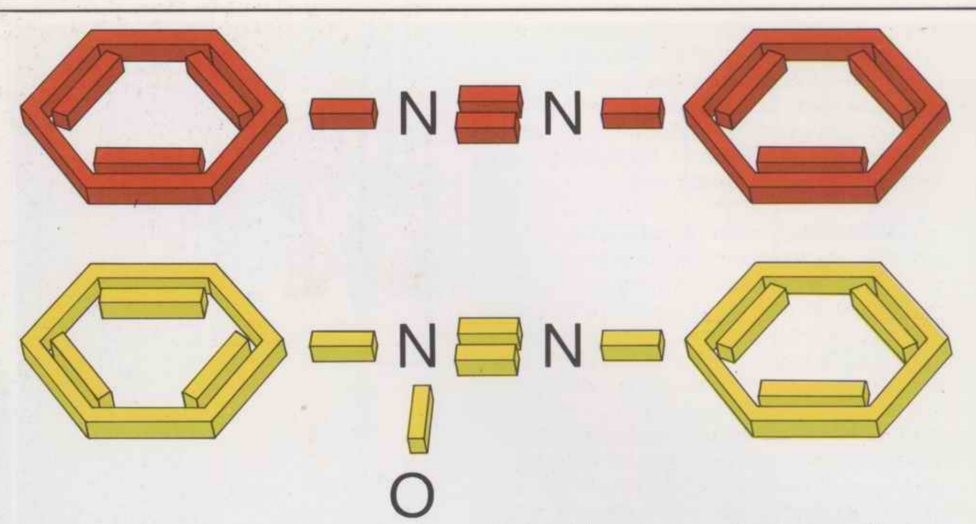
Una manera de clasificar los colores es la de determinar las llamadas *coordenadas tricromáticas,* es decir, se mide qué porcentaje de color está presente en la luz coloreada observada a través de filtros de distinto color. Como la suma de las tres medidas tiene que valer uno, bastan sólo dos números (el tercero es la diferencia con respecto a uno) para describir la naturaleza de un color. Por esta razón todos los colores pueden representarse sobre un plano.

Los distintos colores se disponen formando un triángulo curvilíneo llamado también *triángulo del color.* Sobre su contorno están los colores más puros, o sea, los del espectro; en el centro está el blanco. Estos colores puros no se pueden obtener con todos los medios de reproducción; en el estereograma representado en la parte inferior se ve cómo las regiones de color que se pueden obtener son cada vez más restringidas.



Colorantes

Hasta la mitad del siglo pasado todos los colorantes eran naturales, extraidos de minerales, vegetales (palo campeche, índigo, cúrcuma, etc.) y animales (moluscos, cochinilla, etc.). Los emperadores romanos podían vestir togas de color púrpura gracias a la existencia de un colorante llamado púrpura de Tiro (*Purpura tiria*) obtenido en cantidades minúsculas de un caracol del Mediterráneo (el *murex brandaris*). Durante la Edad Media se ignoró el arte de teñir con púrpura de Tiro, hasta que en 1684 fue redescubierta en Irlanda la especie de moluscos poseedor de tan raro pigmento. A primeros del siglo actual, P. Friedlander llegó a obtener 1,4 gramos de colorante por oxidación al aire de un líquido incoloro extraido de las glándulas de unos doce mil caracoles. Posteriormente, sintetizó en el laboratorio el colorante, resultando ser un dibromoíndigo. Los "casacas rojas" vestían uniformes teñidos con el color carmín obtenido de la cochinilla, insecto hemíptero del tamaño de un chinche que se desarrolla sobre el nopal, especie de chumbera (captus) abundante en América Central.



Los colorantes operan por medio de grupos moleculares llamados "cromóforos", por su propiedad de absorber específicamente la luz y producir el color. Entre las características que tiene que poseer un colorante, está la de poder fijarse a sustancias diferentes, por ejemplo a fibras textiles, a la celulosa, etcétera. Importantes colorantes son los azoicos. Derivan del azobenceno, de color rojo-anaranjado, el cual, por introducción de un átomo de oxígeno se transforma en azoxibenceno, de color amarillo, representado arriba. Para la preparación de los colorantes azoicos, es necesario proceder con dos reacciones, que tienen lugar en la instalación que podemos observar en la fotografía.



Entre los numerosos colorantes obtenidos de los vegetales se destacó el añil o índigo y la alizarina empleados durante varios siglos.

Los colorantes naturales tenían numerosas limitaciones. La variedad de colores era escasa y a menudo se desteñían con el agua o al exponer las prendas al sol durante un período prolongado. Por otra parte, su producción era muy laboriosa, el abastecimiento de materia prima incierto y la coloración irregular, si bien las variaciones en los tonos de color confería una belleza particular a ciertas prendas, como sucedía con las alfombras orientales.

La aparición del primer colorante sintético fue resultado de una de esas "casualidades" tan frecuentes en la historia de la química. En 1856 un joven inglés de 18 años, W. H. Perkin, discípulo del eminente químico alemán Hofmann, que por entonces enseñaba en Londres, obtuvo ocasionalmente un colorante sintético de color violeta brillante al que denominó *mauve* (malva) o *mauveina*. La obtención tuvo lugar al calentar anilina (extraida por destilación del alquitrán de hulla) con dicromato potásico. Contra los consejos de Hofmann, Perkin, renunció a su ayundatía en la universidad y formó con su padre y su hermano una compañía para producir el "malva de Perkin", que al año siguiente se vendía al mismo precio que el platino. Empieza así la febril investigación y producción de los colorantes sintéticos cuyo comercio dominó Alemania hasta 1914. El conocimiento de la estructura de los colorantes ha permitido a los químicos corregir las limitaciones de los colorantes naturales y diversificar los sintéticos hasta límites insospechados.

Colorantes, fibras y mordientes El tinte es un proceso mediante el cual se obtiene un cambio permanente de los colores de los tejidos. Los tres elementos principales del tinte son: el colorante, la fibra (materia prima de los tejidos) que hay que colorear, y el medio —normalmente agua— utilizado para disolver el colorante y aplicarlo a la fibra. Los pigmentos se distinguen de los colorantes en que éstos son solubles en el medio.

Los colorantes que tiñen directamente la fibra se denominan "sustantivos". Otros colorantes, los "adjetivos", precisan un "mordiente", sustancia intermediaria que posee grupos moleculares que se unen, unos a la fibra y otros al colorante.

En cualquier caso el colorante va unido a la fibra (directamente o mediante el mordiente) con enlace químico, con fuerzas moleculares más débiles que el enlace químico o simplemente disperso en el interior de la fibra. El tipo específico de ligazón depende de la naturaleza de la fibra y del método de aplicación. Algunas veces es suficiente la simple inmersión del tejido en una disolución del colorante, pero frecuentemente suelen utilizarse procesos más complicados.

Tipos de colorantes En general, los colorantes se clasifican según el procedimiento de aplicación. Pero como el tinte depende de la composición química de la fibra y del colorante, necesariamente hay que relacionar ambos factores en la clasificación de los colorantes.

Los *colorantes ácidos* se aplican disueltos en una disolución ácida y los *colorantes básicos* en una disolución básica o alcalina. La seda y la lana por su composición proteínica poseen grupos ácidos y básicos en sus moléculas por los que pueden ser clasificados indistintamente en ambos grupos. El malva Perkin es un colorante básico.

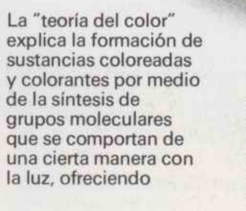
En los *colorantes reactivos* las moléculas colorantes reaccionan con la fibra para

ligarse a la misma con enlace químico. Un procedimiento es el *teñido a la tina*, empleado desde tiempos muy remotos con la púrpura de Tiro y el índigo (añil), obtenido de plantas de la India, que sirvieron para teñir los tejidos en Egipto, como atestiguan los vestidos encontrados en las tumbas de los faraones. Algunos colorantes se forman sobre la misma fibra en el proceso del tinte por la reacción de dos o más compuestos solubles: se denominan *colorantes de desarrollo*.

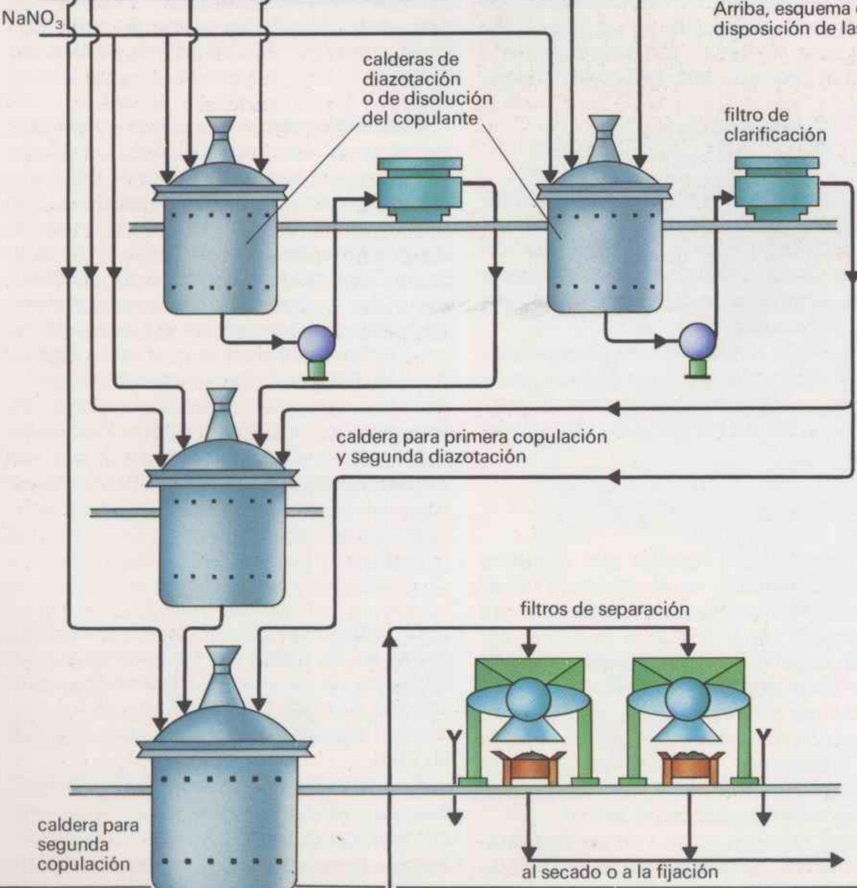
Los *colorantes azoicos* (de *azoe*, nombre primitivo dado al elemento nitrógeno), el mayor grupo químico de colorantes sintéticos, contienen parejas de átomos de nitrógeno unidos mediante doble enlace (compuestos diazoicos). El punto de partida para preparar los colorantes azoicos es la diazotación, reacción exotérmica en la que hay que evitar que la temperatura sobrepase los 2 °C, manteniendo la caldera de reacción en un baño de hielo. Posteriormente, el contenido de la caldera se traspasa a otro recipiente para la copulación. El colorante obtenido es generalmente soluble. Para separarlo de la disolución se provoca su preparación en forma de pequeños cristales, añadiendo sal.

El estampado de los tejidos se realiza pasando sobre los mismos unos rodillos de cobre en los que ha sido previamente grabado el dibujo. Algunas fibras sintéticas como el nailon y el poliéster se tiñen en disolución o se impregnan; el color se añade cuando aún están en forma líquida. Recientes innovaciones emplean la técnica COMIC, controlando la mezcla de los colorantes mediante computadores que actúan en base a una programación previa. Así se obtiene la tonalidad deseada.





La "teoría del color" explica la formación de sustancias coloreadas y colorantes por medio de la síntesis de grupos moleculares que se comportan de una cierta manera con la luz, ofreciendo características de absorción que dan lugar a los diferentes colores. Los grupos cromóforos son los mismos también en los colores de la Naturaleza, de los que aquí arriba se ve un ejemplo, junto a los creados por el hombre. Arriba, esquema de la disposición de las → calderas de copulación y de diazotación, en una instalación para la producción de colorantes.



Véase **Color; Química industrial; Tejidos; Tejidos, fabricación de**

Combinatoria

Numerosos problemas lógicos y matemáticos, por ejemplo en campos tan diversos como el Algebra o el Cálculo de Probabilidades, tienen naturaleza *combinatoria*. Incluso muchas cuestiones prácticas, que van desde los juegos de azar hasta las aplicaciones técnicas más sofisticadas, se pueden reducir a planteamientos *combinatorios*. Estos se basan en considerar en un conjunto finito dado los posibles subconjuntos que pueden formarse a partir del mismo, según se adopten diferentes criterios en cuanto a número de elementos a incluir, repetición o no de éstos y, en principal lugar, en torno a las ordenaciones posibles en dichos subconjuntos. En una perspectiva matemática más *moderna* los aspectos *combinatorios* pueden reducirse muchas veces a propiedades simples de las aplicaciones (funciones) entre conjuntos finitos. Se suele denominar *Combinatoria* (en tiempos pasados también *coordinatoria*) o *Análisis Combinatorio* a la disciplina matemática que se ocupa de dichas propiedades. En lo que sigue vamos a presentar algunos de los conceptos más elementales de la misma y unas breves ideas sobre su desarrollo.

Variaciones y permutaciones Dado un cierto conjunto de n elementos (distintos) se llama *variación* de orden r, o *r-aria*, o, también, variación de n objetos tomados r a r, a todo conjunto ordenado de r elementos (distintos) cualesquiera tomados de entre ellos, cuando se ha establecido el criterio de que dos variaciones son diferentes si difieren en algún elemento o, si tienen los mismos, cuando están ordenados de modo diferente. Por ejemplo con los elementos a, b, c, se tienen las siguientes variaciones monarias y binarias:

a, b, c
ab, ac, ba, bc, ca, cb

El anterior ejemplo puede generalizarse. Cuando se tienen formadas las variaciones de orden $r-1$ de n objetos, para obtener las de orden r habrá que añadir a cada una de ellas cada uno de los

$$n-(r-1)=n-r+1$$

objetos que no contiene. Esta misma idea sirve para hallar el número de variaciones de n objetos tomados r a r, que suele escribirse $V_{n,r}$. En efecto, por lo dicho;

$$V_{n,r}=V_{n,r-1}\,(n-r+1)$$

lo que, inmediatamente, da

$$V_{n,1}=n$$
$$V_{n,2}=n(n-1)$$
$$\cdots\cdots$$
$$V_{n,r}=n(n-1)\ldots(n-r+1)$$

Se llama *permutación* de n objetos precisamente a sus variaciones de orden n; es decir a las diferentes ordenaciones que cabe hacer tomando los n elementos y considerando distintas aquéllas que tienen elementos en diferente orden. En consecuencia, el número de ellas, designado normalmente como P_n, es

$$P_n=V_{n,n}=n(n-1)\ldots 2\cdot 1$$

El producto de los n números 1, 2... n, se denomina *factorial de n* y se escribe $n!$ Se conviene que $0! = 1! = 1$

Con dicha notación, las expresiones anteriores pueden escribirse así:

$$P_n = n!$$

$$V_{n,r}=\frac{n!}{(n-r)!}$$

Algunos autores no utilizan el término *variación*, y a las variaciones *r-arias* de n elementos las denominan permutaciones *r-arias* de n elementos.

Una pregunta surge inmediatamente. ¿Qué pasaría si se permitiera, al formar variaciones o permutaciones, repetir los elementos? Por ejemplo, en el caso antes citado de tres elementos, valdrían también como variaciones las siguientes;

aa, bb, cc

El modo de formación y el número de las llamadas *variaciones con repetición* se establece fácilmente. En efecto: cuando se tienen las de orden $(r-1)$ se obtienen las de orden r añadiendo a cada una cualquiera de los elementos. Su número es entonces;

$$V'_{n,1}=n,\quad V'_{n,2}=n^2,\quad \ldots,\quad V'_{n,r}=n^r$$

Como puede, también, deducirse de un razonamiento elemental: en el primer lugar de las r se tienen n elementos posibles, en el segundo otra vez n, etc.; luego, en total

$$n\cdot n\ldots n = n^r$$

Este es el razonamiento del quinielista que quiere jugar los 14 partidos a los tres resultados y que coincide con el experto en combinatoria, para el que cada quiniela es una variación con repetición de tres signos de orden 14.

En cuanto al número de las permutaciones con repetición de n elementos entre las que hay α iguales entre sí, otros β iguales entre sí, etc. $(\alpha+\beta+\ldots+\lambda=n)$ su expresión es:

$$P_{n,\,\alpha+\beta+\cdots+\lambda}=\frac{n!}{\alpha!\beta!\ldots\lambda!}$$

El razonamiento sencillo que conduce a la fórmula anterior es el siguiente (en el supuesto más simple de que sólo hubiera un elemento repetido): si se tienen n elementos distintos, sus permutaciones son $n!$, si α de ellos se hacen iguales resulta que todas las permutaciones que sólo difieran de una dada en la diferente ordenación de sus α elementos son indistinguibles y, precisamente, su número es el de permutaciones de α elementos, o sea $\alpha!$

Un problema en torno a las permutaciones curioso es el que se presenta cuando las n elementos se disponen circularmente y no se señala ninguno como primero de la permutación. Se dice, entonces, que se trata de *permutaciones circulares*. El número de las mismas es inmediato; dada una permutación circular, sin más que tomar como primero cada uno de los elementos, origina n permutaciones ordinarias y, por tanto, al ser éstas $n!$, las circulares serán $(n-1)!$. Resultado evidente si se piensa que una forma de obtener las permutaciones circulares es dejar fijo un elemento cualquiera y permutar de forma ordinaria los otros $(n-1)$. Este problema se presta a la siguiente curiosidad (que muestra, de paso, la enorme velocidad con que aumentan los factoriales): ¿De cuántas maneras hubieran podido sentarse Jesucristo y los 12 Apóstoles en la última Cena si la mesa hubiese sido circular? La respuesta es de $12! = 479.001.600$ formas.

Si se recurre al lenguaje de la Teoría de Conjuntos, lo que en este caso es inmediato y natural, cabe redefinir el concepto de permutación en los siguientes términos:

Una *permutación* de un conjunto finito es toda biyección del conjunto en sí mismo.

Nótese que se ha producido una pequeña variación semántica ya que, en el lenguaje clásico, utilizado en las líneas anteriores, el término *permutación* se aplicaba a lo que en lenguaje moderno es sólo la *imagen de la permutación*. Por el contrario se suele llamar en los libros clásicos *sustitución* a la biyección antes citada. Por cierto que las mismas se prestan a un cálculo interesante porque puede probarse que, adoptando como operación algebraica el producto de funciones, forman un grupo.

Combinaciones Se llaman combinaciones de n elementos (distintos) los subconjuntos que se pueden formar tomando sólo r de entre ellos, y se consideran dos subconjuntos distintos cuando difieren en algún elemento. En el lenguaje de la Teoría de Conjuntos las combinaciones de orden r de n elementos son precisamente las partes o subconjuntos del conjunto de los citados n elementos que están formados sólo por $r \leqslant n$ de dichos elementos. La diferencia con las variaciones es que, en este caso, no importa el orden. Por ejemplo, si se tienen los elementos a, b, c sus combinaciones monarias y binarias serán

a, ab, ac
b, bc
c

El criterio de formación es inmediato; dadas las de orden $r-1$ de n elementos se obtienen las de orden r añadiendo a cada antigua combinación cada uno de los elementos siguientes al último que aparece en ella.

Su número, designado por $C_{n,r}$ o, también, por el llamado número combinatorio introducido por Euler, $\binom{n}{r}$, se calcula fácilmente. En efecto; cada combinación da



Numerosos problemas probabilísticos son de naturaleza combinatoria. Recíprocamente, muchas cuestiones combinatorias admiten interpretaciones o modelos probabilísticos. En la figura, el artista ha imaginado una máquina recreativa en la que el jugador sólo puede "poner" una bola en el embudo vertical; a partir de la caída, el azar va encaminando las bolas, tras los sucesivos choques, a los depósitos. La teoría establece que las probabilidades de caer en cada uno de dichos depósitos son proporcionales a los números combinatorios $\binom{n}{i}$ si es n el número de ellos. La experiencia confirma que las frecuencias cumplen, aproximadamente, la misma ley. Esto último se comprueba "jugando" con un número muy alto de bolas y observando cómo se disponen en la forma que sugiere la ilustración y que aproxima la llamada curva (en forma de "campana") de Gauss.



Niccolo Fontana, de Brescia (*ca.* 1500-1557) quedó tartamudo por un corte en el cuello producido por un soldado francés en la masacre de 1512 en la Catedral de su ciudad natal. Desde entonces fue conocido como *Tartaglia*. Hijo de una viuda pobre (su padre había muerto en la citada masacre), estudió por sí solo griego, latín y matemáticas. Muy pronto fue profesor de matemáticas en Venecia, luego en Brescia y de nuevo en Venecia, donde murió. Mente poderosísima, resolvió arduos problemas algebraicos (por ejemplo la ecuación cúbica). En su *Trattato* de 1556 se refiere, como descubrimiento propio, al triángulo aritmético y al desarrollo del binomio. Lo cierto es que en años anteriores ya eran conocidos en Occidente y de antiguo en Oriente. Curiosamente, hoy el *triángulo aritmético* suele llamarse "de Tartaglia" o de "Pascal", que escribió un libro sobre el tema en 1654 (*Traité du triangle aritmétique,* aparecido póstumamente en 1665) en el que también se encuentra la fórmula del binomio, conocida como "de Newton".

origen a tantas variaciones como resultan de permutar todos los r elementos que la forman, o sea:

$$C_{n,\,r}=\frac{V_{n,\,r}}{P_r}=\binom{n}{r}=\frac{n!}{(n-r)!\;r!}$$

También se pueden considerar las combinaciones con repetición de n objetos tomadas r a r (con r en este caso menor, igual o mayor que n) que son los conjuntos de r elementos, iguales o distintos, tomados de entre n dados y considerando los conjuntos iguales cuando tienen los mismos elementos repetidos las mismas veces sin importar el orden. Por ejemplo, en el caso de los elementos *a b c* las combinaciones binarias con repetición serían;

aa ab ac
bb bc
cc

Se puede probar con facilidad que el número de combinaciones con repetición de n elementos tomados r a r, que suele escribirse $C_{n,\,r}$ equivale al de combinaciones sin repetición de $n + r - 1$ elementos tomados r a r, es decir;

$$C'_{n,\,r}=\binom{n+r-1}{r}$$

Potencias de binomios y polinomios Un clásico problema combinatorio es el del desarrollo de potencias de binomios y polinomios. Examinémoslo brevemente.

El desarrollo de $(a+b)^n$ se obtiene multiplicando $(a+b)$ por sí mismo n veces y, por tanto, será una suma de términos cada uno de ellos igual a un coeficiente numérico por un monomio de la forma

$$a^{n-r}b^r$$

con r variando desde 0 hasta n. El único problema es conocer el valor de cada uno de los coeficientes; pero un sencillo razonamiento combinatorio muestra que el de $a^{n-r}b^r$ es precisamente el número de veces que aparece dicho valor al tomar en $n-r$ paréntesis la letra a y en r la b; es decir el número de veces que pueden elegirse r elementos de un conjunto de n sin importar el orden, o sea $\binom{n}{r}$.

Resulta, pues, que;

$$(a+b)^n=a^n+\binom{n}{1}a^{n-1}b+\ldots+\binom{n}{r}a^{n-r}b^r+\ldots+b^n$$

expresión conocida como *fórmula del binomio de Newton,* aunque sea muy anterior al mismo. (A Newton se debe, en realidad, una generalización para exponentes no enteros).

Cuando se trata de la potencia de un polinomio, la expresión, conocida como fórmula de Leibniz, es;

$$(a+b+\ldots+l)^n=\sum\frac{n!}{\alpha!\beta!\ldots\lambda!}\,a^\alpha b^\beta\ldots l^\lambda$$

donde la suma se extiende a todas las descomposiciones de la forma

$$\alpha+\beta+\ldots+\lambda=n$$

El argumento es, en este caso, que al multiplicar n paréntesis el monomio

$$a^\alpha b^\beta\ldots l^\lambda$$

aparece tantas veces como posibilidades de elegir n elementos siendo α iguales a a, β iguales a b, etc., en cualquier orden, es decir tantas veces como $P_{n,\,\alpha+\beta+\ldots\lambda}$

Si se reduce el polinomio a binomio se reencuentra la fórmula de Newton.

Un resultado curioso se obtiene en la fórmula del binomio si se hacen $a = b = 1$. En efecto:

$$2^n=(1+1)^n=\binom{n}{0}+\binom{n}{1}+\ldots+\binom{n}{r}+\ldots+\binom{n}{n}$$

que no sólo da una interesante propiedad de los números combinatorios sino que, también, tiene otra significación importante: la de que el número de subconjuntos o partes que tiene un conjunto de n elementos es precisamente 2^n, ya que;

$$\binom{n}{n}=1,\ldots\binom{n}{r}\ldots\binom{n}{1}=n,\binom{n}{0}=1$$

son precisamente los subconjuntos que pueden formar entrando todos los elementos, entrando sólo r, uno y ninguno (el vacío).

Números combinatorios Euler utilizó la notación $\binom{n}{r}$, que se lee "*n* sobre *r*", llamándose a veces a *n numerador* y a *r denominador* del *número combinatorio*, para designar el número de combinaciones de n elementos tomadas r a r. Dichos números combinatorios aparecen en multitud de problemas, (algebraicos, analíticos, probabilísticos, etc.) y es interesante conocer alguna de sus propiedades, siquiera las más elementales. Veámoslas:

Recordemos que:

$$\binom{n}{r}=\frac{n!}{(n-r)!\;r!}$$

y, en particular;

$$\binom{n}{0}=\binom{n}{n}=1$$

De modo inmediato se verifica que:

$$\binom{n}{r}=\frac{n!}{r!(n-r)!}=\binom{n}{n-r}$$

Se ha visto también que:

$$\binom{n}{0}+\binom{n}{1}+\ldots+\binom{n}{r}+\ldots+\binom{n}{n}=2^n$$

Hay una propiedad que puede obtenerse de forma algebraica, simplemente calculando una suma, o, más sutilmente, observando que las combinaciones de un objeto tomadas r a r pueden clasificarse en dos grupos: las que contienen a un determinado elemento y las que no lo contienen; las primeras coinciden (si se quita ese elemento) con las combinaciones de orden r-1 de n-1 elementos, las segundas son, evidentemente, las de las n-1 restantes elementos tomados r a r. Se tiene así que:

$$\binom{n}{r}=\binom{n-1}{r-1}+\binom{n-1}{r}$$

Esta expresión permite calcular, de forma recurrente y simple, los números combinatorios correspondientes a n elementos conocidos los de n - 1 elementos. Los cálculos se disponen en la siguiente forma:

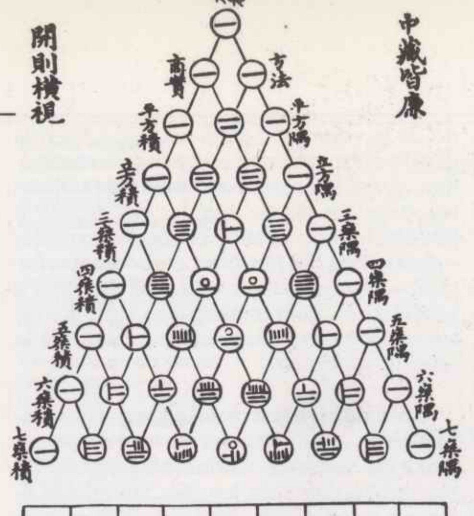
1
1 1
1 2 1
1 3 3 1
1 4 6 4 1
1 5 10 10 5 1
1 6 15 20 15 6 1
....

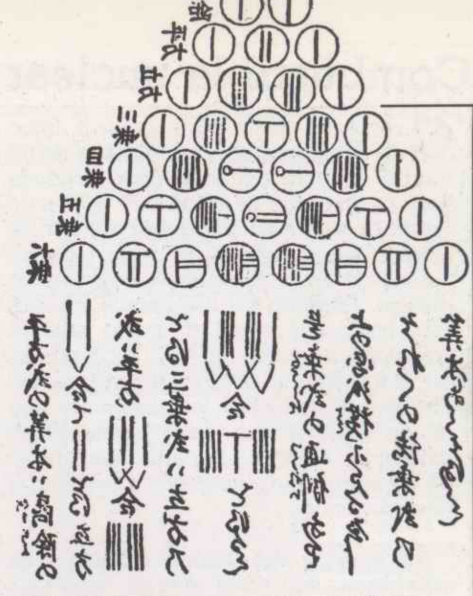
disposición llamada *triángulo aritmético o de Tartaglia*, en el que cada elemento es la suma de los dos situados en la fila superior. Dicho artificio aritmético permite obtener multitud de relaciones interesantes, además de ser un cómodo mecanismo de cálculo, de los números combinatorios y, consecuentemente de los coeficientes del binomio. Por cierto que la fórmula del binomio sí debiera de llamarse de Tartaglia, matemático italiano al que se debe, y no a Newton. Por el contrario, el triángulo aritmético tiene un origen remoto y no se debe a Tartaglia.

Breve referencia histórica Los temas combinatorios aparecen, de forma explícita o no, en períodos remotos de todas las culturas. El famoso libro chino *I-Ching* ("Libro de las transformaciones") proporciona con sus combinaciones de trigramas místicos uno de los ejemplos más antiguos. Como señala el historiador de la matemática D.E. Smith, probablemente el *I-Ching* inspirase un libro sobre variaciones, hoy perdido, escrito en el Japón del siglo XII de nuestra era.

Entre los filósofos griegos se encuentran consideraciones sobre distintos problemas que hoy se resolverían con el cálculo combinatorio, pero no hay constancia de que dispusieran de teoría alguna al respecto. Curiosamente, y dentro del general desinterés romano por la matemática, se encuentra en Boecio (*ca.* 510) la regla para encontrar las combinaciones de n objetos tomados dos a dos.

En la India no se encuentran resultados de especial interés hasta que Bhaskara (*ca.* 1150) da reglas para calcular variaciones con y sin repetición y combinaciones e indica campos de aplicación.





La historia de lo que, comúnmente, se denomina *triángulo aritmético, de Tartaglia* o *de Pascal* es larga y curiosa. Obviamente está entrelazada con los progresos del análisis combinatorio y, sobre todo, con el del cálculo de los coeficientes del desarrollo del binomio. Euclides (*ca.* 300 a. de C.) manejaba el caso más sencillo (el cuadrado del binomio). Hacia 1100 Omar Khayan aseguraba conocer la técnica del desarrollo para exponentes más altos. En cuanto al propio triángulo aparece en uno de los trabajos del algebrista chino Chu Shi-Kie en 1303. En Occidente se encuentra el triángulo en los libros de aritmética de Apianus (1527), Stifel (1544), etcétera, y en el del propio Tartaglia (1556). Con posterioridad se ocupan del tema otros autores y lo "agota" Pascal con su tratado de 1654. En las ilustraciones, triángulos orientales, chino y japonés. El chino procede del libro de Chu Shi-Kie, el japonés de una obra más moderna (1781) de Murai Chuzen.

En el mundo medieval se presta atención a la combinatoria en conexión con sus aplicaciones a la Cábala judía y, tanto por parte de científicos árabes y hebreos, en relación con la astronomía.

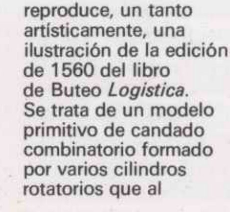
En un libro escrito en 1321 el judío francés Levi Ben Gerson da ya una visión muy avanzada del tema con reglas para el cálculo de variaciones y combinaciones. Oresme (*ca.* 1360) insiste en los cálculos, siempre expresados retóricamene como corresponde a la época.

Hacia los siglos XV y XVI los conceptos combinatorios aparecen ya en varios trabajos impresos. Así, por ejemplo, Tartaglia (*ca.* 1500 - 1557) parece que los utilizó en estudios sobre el juego de dados y en el cálculo de la potencia de un binomio.

En el siglo XVII la materia adquiere consistencia teórica y práctica. Por ejemplo la fórmula general de $C_{n,r}$ aparece en un libro de Hérigone en 1634. Pascal, Leibniz y otros escriben sobre cuestiones de combinatoria; incluso Spinoza le dedica un folleto. Por fin Jacobo Bernoulli en un libro, *Ars Conjectandi* (1713), aparecido póstumamente, trata problemas probabilísticos y combinatorios extensamente; en él se presentan los resultados básicos, prácticamente en la forma hoy usual. A partir de esa fecha, y en muchos casos en relación con el Algebra y con el Cálculo de Probabilidades se van desarrollando la teoría y la práctica hasta su situación actual.

Véase **Probabilidad**

De forma más o menos empírica o racional, las técnicas combinatorias han sido utilizadas desde antiguo por diferentes civilizaciones. En la figura se reproduce, un tanto artísticamente, una ilustración de la edición de 1560 del libro de Buteo *Logistica*. Se trata de un modelo primitivo de candado combinatorio formado por varios cilindros rotatorios que al coincidir en la "combinación" adecuada producen la apertura. (Aunque los técnicos hablan genéricamente de "combinaciones", suele tratarse, matemáticamente, de permutaciones.)





Combustible nuclear

Cuando un combustible químico, como la gasolina, arde en el interior de un motor de combustión interna, produce energía en forma de calor. Esto ocurre en virtud de una reacción química entre los átomos del combustible y los del oxígeno contenido en el aire con el que éste se mezcla. También los llamados combustibles nucleares, como el uranio, cuando son utilizados para alimentar las centrales nucleares, liberan energía en forma de calor. Pero en este caso, las reacciones que tienen lugar son distintas, no necesitan oxígeno y afectan a la parte más interna de los átomos de combustible, es decir, al núcleo atómico.

La energía del núcleo atómico La energía nuclear es la energía contenida en el núcleo de los átomos, constituidos por un conjunto de protones (partículas con carga eléctrica positiva) y neutrones (partículas sin carga eléctrica). El número de protones contenidos en el núcleo de un átomo de un determinado elemento toma el nombre de *número atómico* y es el mismo para cada uno de los átomos de ese elemento. La suma del número de protones y el número de neutrones del núcleo constituye lo que se llama *número másico* del elemento. Los átomos de elementos con igual número atómico y distinto número másico (es decir, de igual carga eléctrica y distinto peso) son los llamados *isótopos* del elemento en cuestión. Cuando neutrones y protones forman un núcleo atómico, éste resulta con una masa algo inferior a la suma de las masas de protones y neutrones originales considerados independientemente. Esta pérdida de masa corresponde a una transformación de masa en energía, llamada energía de enlace, liberada para mantener fuertemente unidas a dichas partículas constituyentes del núcleo y cuyo valor específico resulta ser máximo para átomos de pesos atómicos intermedios.

Por ello, tanto en el proceso de fusión nuclear, en el que dos átomos de número másico bajo se unen para formar un átomo de mayor envergadura, como en el de fisión nuclear, o partición de núcleos atómicos de elementos pesados originándose otros de pesos intermedios, la configuración nuclear resultante es tal que en ambos casos se libera una cierta cantidad de energía, excedente de las respectivas energías de enlace anteriores y posteriores al proceso.

Esta energía nuclear, que aparece en forma de radiación y de gran velocidad comunicada a los neutrones que se originan y a los átomos que intervienen en el proceso, se transforma, en definitiva, en calor, calentándose el medio material en el que está produciéndose y siendo la liberación de energía procedente del citado defecto másico del núcleo atómico de un rendimiento tan elevado que cada gramo de masa que se transforma en energía equivale a casi 22 billones de calorías, de acuerdo con la conocida fórmula de Einstein, E (Energía) = m (masa) × c^2 (cuadrado de la velocidad de la luz). Esta energía puede aprovecharse como fuente energética, y, así, las centrales nucleares utilizan reactores de fisión nuclear del uranio o plutonio como fuente primaria de calor —sustitutiva del petróleo, carbón o gas natural— para producir el vapor de agua a presión que, alimentando a las turbinas de los grupos turboalternadores, generará la energía eléctrica.

Combustibles nucleares fisionables Las aplicaciones de la energía nuclear se derivan, fundamentalmente, de las propiedades de los tres materiales fisibles uranio-235, plutonio-239 y uranio-233, de los cuales solamente el primero existe actualmente en la Naturaleza y los dos restantes pueden originarse, en los reactores nucleares, a partir de los materiales fértiles uranio-238 y torio-232, respectivamente.

El uranio-235 forma parte del uranio natural en la proporción de tan sólo el 0,71%. El resto es, casi todo, uranio-238, no fisible, pero que, al estar sometido igualmente al flujo neutrónico en un reactor nuclear, origina plutonio-239. Como el plutonio es fisible, una parte del originado se consumirá también por fisión y, en definitiva, el balance de material combustible fisionado en cada momento se obtendrá por diferencia entre el uranio más el plutonio existentes aún sin fisionar, con respecto al total de combustible fisionable inicial.

El uranio-235 ha sido el primer combustible nuclear utilizado en centrales nucleares, en forma de uranio natural metálico en unas y en forma de óxido de uranio en otras, en las que previamente a la fabrica-



En el esquema se han representado los combustibles de tres tipos distintos de centrales nucleares. El de la fotografía corresponde a reactores de uranio natural y en su corte esquemático se distingue, de dentro a fuera, su alma de grafito, el propio uranio y la vaina metálica constituida por una aleación de magnesio y circonio. El gas de refrigeración circula por el espacio libre hasta el cilindro más externo de grafito. El esquema inferior representa la constitución de un elemento combustible para una central de agua a presión, en el que las pastillas cerámicas de óxido de uranio enriquecido se alojan en barras que a su vez se agrupan en un armazón con espacio libre suficiente para la buena circulación del agua de refrigeración. Finalmente, en el esquema superior, correspondiente a un elemento combustible del reactor rápido reproductor Superphenix, puede verse una aguja del combustible de óxido de uranio y plutonio, así como un corte transversal con el detalle interno de la configuración de las 271 agujas de que consta el conjunto, cuyo envainado externo es de acero inoxidable. El sodio líquido de refrigeración circula también por el interior, entre las agujas. Los elementos fértiles del Superphenix, también en vaina de acero, están constituidos así mismo por una configuración hexagonal de 91 agujas de uranio empobrecido y se colocan en el núcleo del reactor formando una corona alrededor de los elementos combustibles.

ción de los elementos combustibles se le ha sometido al proceso de "enriquecimiento".

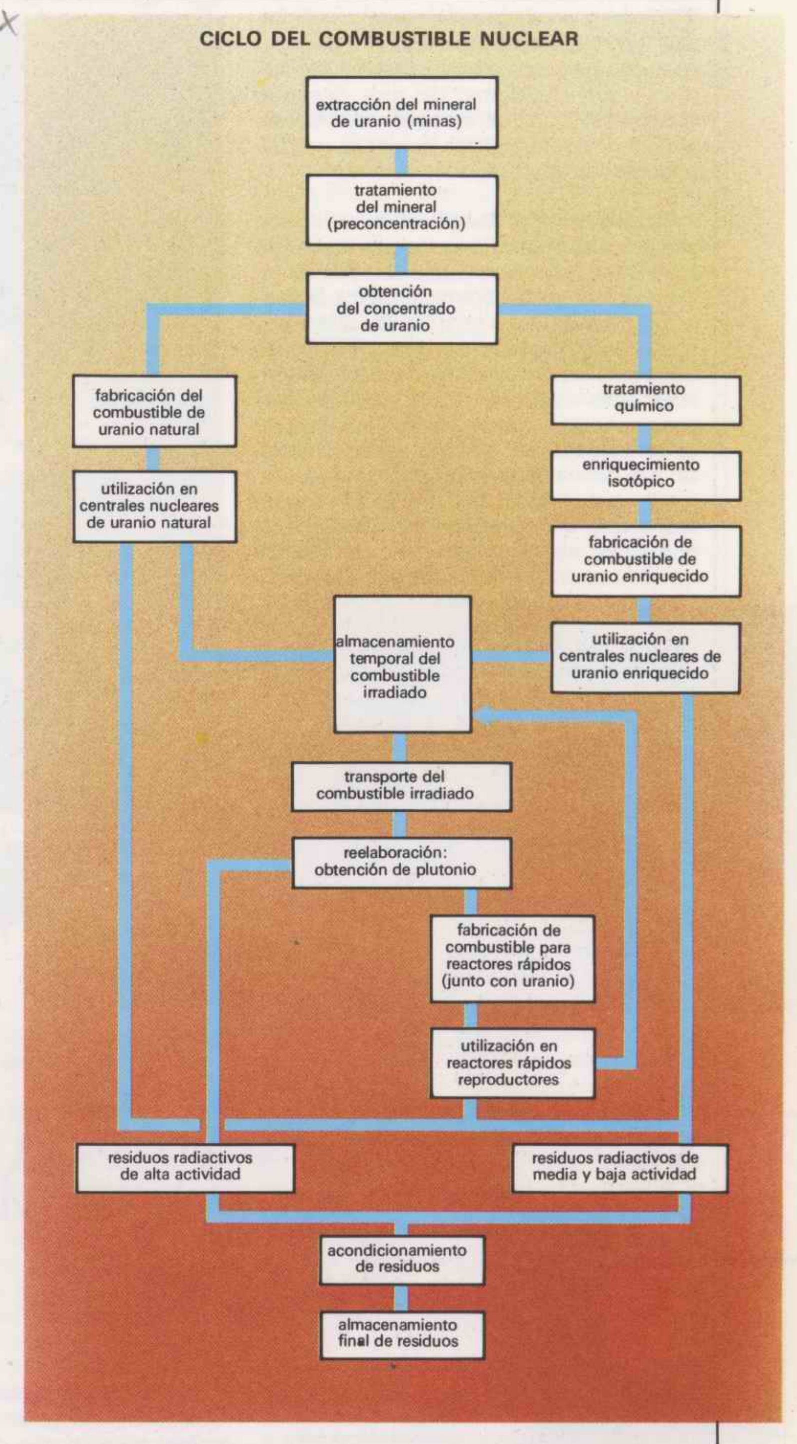
Enriquecimiento y fertilización El proceso de enriquecimiento del uranio consiste en aumentar la proporción de su isótopo 235 fisionable hasta por lo menos un 3%, para que así sea compatible con su utilización en un reactor en forma de óxido y con agua como refrigerante. De no hacerse así, no podría llegarse a producir la reacción de fisión en cadena debido a que el oxígeno presente absorbería tantos neutrones que no quedarían los suficientes como para mantener por sí sola la secuencia de fisiones. El enriquecimiento del combustible nuclear es un proceso complejo y muy costoso que se realiza por el método de difusión gaseosa: el uranio, puesto en forma de hexafluoruro gaseoso, se hace pasar a través de sucesivas etapas de filtración en las que se van separando ambos isótopos. Actualmente se desarrolla también el método de centrifugación para conseguir el mismo objetivo.

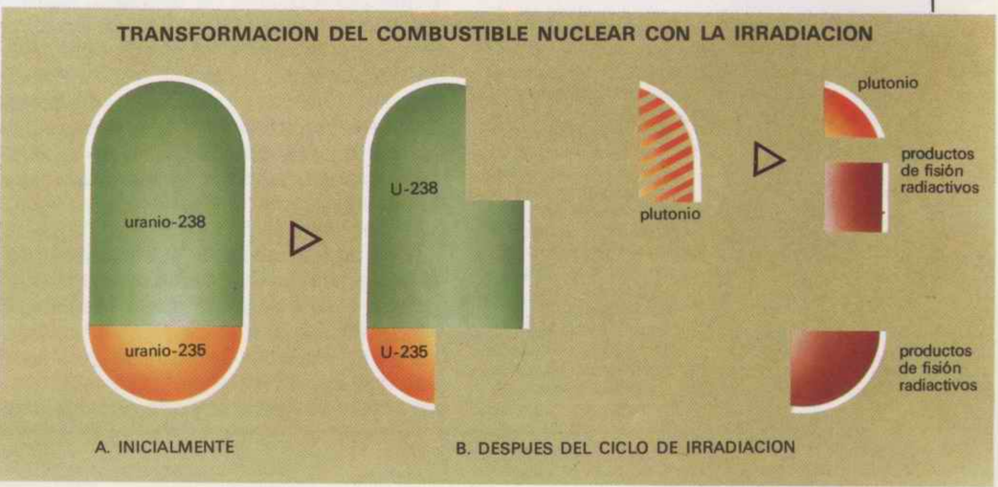
Con el enriquecimiento isotópico del uranio se consigue un mejor aprovechamiento del isótopo fisible 235, pero en todos los reactores de uranio, aun contando con el plutonio producido, se consume, en definitiva, material combustible. Actualmente, existe ya la manera de obtener más combustible del que se gasta durante el proceso, en centrales nucleares diseñadas para el funcionamiento con un reactor de plutonio —utilizando para ello el plutonio-239 recuperado de los combustibles gastados de los reactores de uranio— en las que envolviendo a su vez el combustible con uranio-238 como material fértil se consigue finalmente una producción de combustible superior al consumido: se trata de las centrales reproductoras, como la Superphenix en Francia, con las que puede llegarse a multiplicar por 60 el aprovechamiento, en definitiva, del uranio natural, a base de fertilizar su isótopo no fisible. Si se utilizase torio-232, mucho más abundante en la Naturaleza que el uranio, como material fértil, se obtendría el combustible fisionable uranio-233, pero esto ha sido poco desarrollado todavía.

El principal inconveniente en la utilización del combustible nuclear es la producción de sustancias radiactivas de desecho, inherentes al proceso mismo de la fisión, ya que los dos átomos en que se fracciona cada átomo fisionado son isótopos radiactivos, algunos de ellos de muchos años de duración, lo que lleva a unas exigencias de hermeticidad en el envainado metálico externo del combustible en su proceso de fabricación, y a la necesaria habilitación y desarrollo de técnicas de preparación y lugares apropiados de almacenamiento de los citados residuos radiactivos finales del proceso.

Véase **Central nuclear; Nuclear, fisión; Residuos nucleares**

En este esquema quedan reflejados el consumo de material combustible, la conversión de material no fisible en fisible y la producción de residuos de fisión. En una central de uranio natural, la proporción inicial, por cada kilogramo de uranio es de 933 gramos de uranio-238 y 7 gramos de uranio-235 fisible. Después del ciclo de irradiación en el reactor, se han consumido 3,5 gramos de este último, generando una cantidad equivalente de productos de fisión reactivos. Por otra parte, del uranio-238 se han transformado en plutonio 4,5 gramos, de los cuales, a su vez, se han fisionado aproximadamente la mitad. Quedan, pues, en total, 5,75 gramos de material fisible, frente a los 7 gramos iniciales; se han fisionado otros 5,75 gramos en total (uranio más plutonio) y se ha generado una cantidad equivalente de residuos. En un reactor de agua a presión, la proporción inicial por kilogramo es de 967 gramos de uranio-238 y 33 gramos de uranio-235; la conversión total en plutonio de 24 gramos, y el consumo de 25 gramos de uranio-235 y 15 gramos de plutonio, con la producción de 40 gramos de residuos, con lo que quedan 17 gramos de material fisible, frente a los 33 iniciales y se han aprovechado 40 gramos fisionados. En una central reproductora se aumenta la proporción de plutonio generado de tal forma que hay más cantidad fisionable residual que la inicial introducida en el núcleo.





Combustión

El término *combustión* se aplica al conjunto de fenómenos que tienen lugar cuando una sustancia se combina rápidamente con el oxígeno del aire, desprendiendo calor, y que a veces están acompañados de una emisión luminosa que conocemos como "fuego".

Naturaleza del fuego La utilización por el hombre primitivo de esta fuente de luz y calor marcó un punto importante en la evolución de la especie humana. Durante muchos siglos, y de acuerdo a la interpretación pitagórica, se incluyó el fuego dentro de los cuatro elementos fundamentales cuya combinación en distintas proporciones daba lugar a todos los seres, y se le atribuyó un carácter mítico, resultado del desconocimiento de su origen.

En el siglo XVII se formuló la primera teoría que, aunque falsa, trató de explicar con bases experimentales los fenómenos que acompañan a la combustión de la materia. Esa teoría suponía la presencia en toda sustancia combustible de un elemento inflamable denominado *flogisto*, que se desprende en la combustión con acompañamiento de luz y calor.

El aumento de peso de un cuerpo después de su combustión y la necesidad de la presencia de aire para que ésta se produzca, llevaron a Lavoisier a una nueva hipótesis que reemplazó a la del *flogisto*, y que mostró de modo indiscutible que toda combustión resulta de una reacción química del cuerpo con alguno de los constituyentes del aire. Cuando en 1774 Priestley demostró la existencia en el aire de oxígeno, Lavoisier inmediatamente identificó este componente como el responsable de la combustión, con lo que estableció de forma definitiva la verdadera naturaleza del proceso.

Una rápida oxidación Intrínsecamente los procesos de combustión y de oxidación tienen algo en común: la unión de una sustancia con el oxígeno. La diferencia es únicamente debida a la velocidad con que el proceso tiene lugar. Así, cuando el proceso de unión con el oxígeno es lo bastante lento como para que el calor desprendido durante el mismo se disipe en el medio ambiente sin calentar apreciablemente el cuerpo combustible, se habla de *oxidación*. Tal es el caso de la corrosión del hierro o la putrefacción de la madera. Si el proceso es rápido y va acompañado de un gran aumento de temperatura y en ocasiones de emisión de luz, como el carbón al arder o el petróleo al quemarse, recibe el nombre de *combustión*.

Las reacciones químicas implicadas en la combustión no suelen, al contrario de lo que sucede en la oxidación, producirse de forma espontánea. Una fuga de gas puede permanecer un tiempo considerable sin que se produzca reacción alguna, pues es necesario un iniciador, como puede ser el

La desaparición de materia en un cuerpo en llamas (fotografía superior) no es más que una ilusión. En 1774 Lavoisier demostró que la combustión era una rápida reacción química, producida a elevada temperatura, entre el oxígeno contenido en el aire y la materia. Esta oxidación suministra calor, y a veces luz, además de distintos productos de combustión.

fragmento de celulosa ($C_6H_{12}O_5$)

dióxido de carbono (CO_2)

agua (H_2O)

carbono (C)

hidrógeno (H)

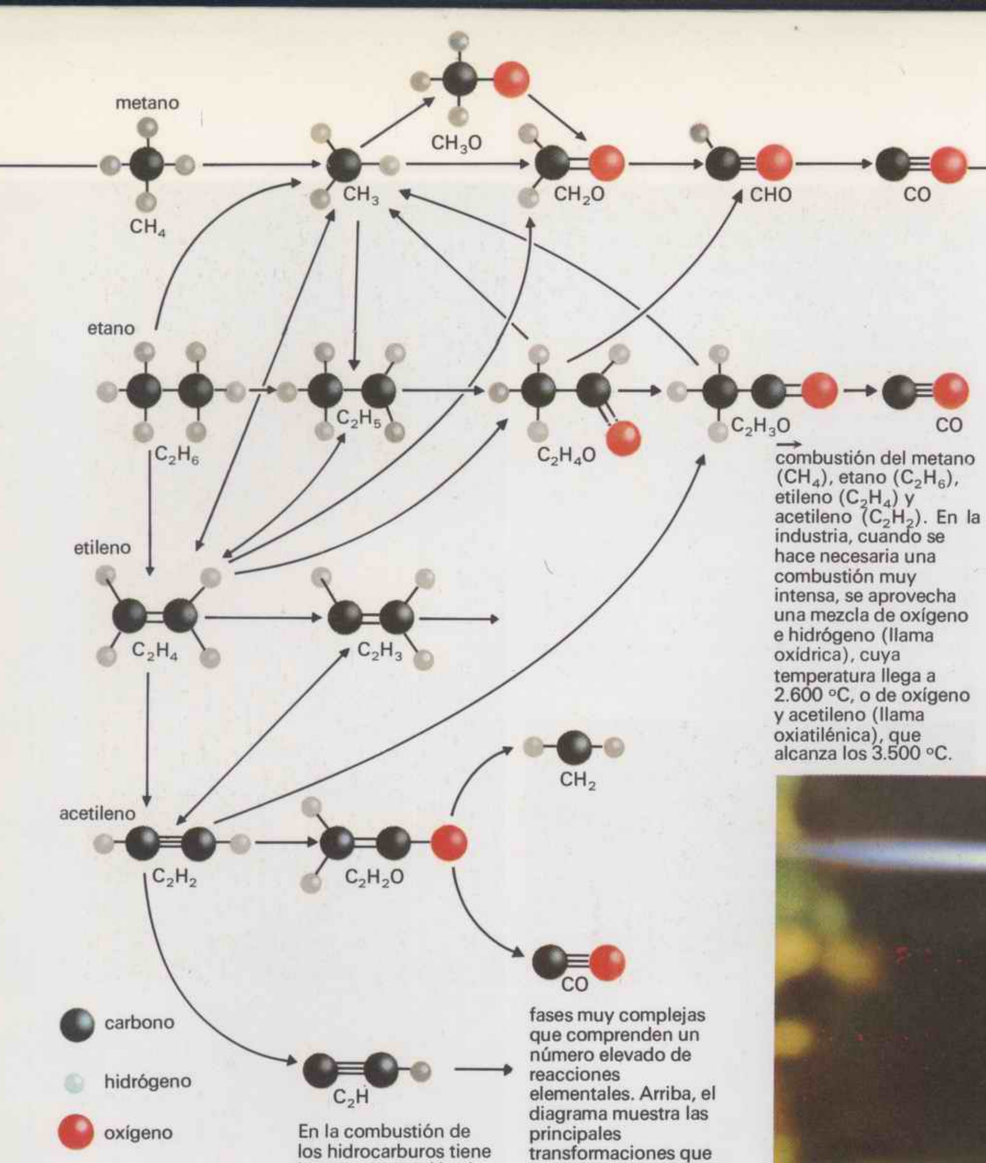
oxígeno (O)

calor de combustión

oxígeno

oxígeno

La madera está compuesta principalmente por celulosa, el hidrato de carbono más abundante en la Naturaleza y de mayor importancia industrial, formado por carbono, oxígeno e hidrógeno. Sobre estas líneas, la reacción de oxidación del carbono con el oxígeno del aire que tiene lugar durante la combustión de la madera, y en la que se obtiene como resultante final, además de la emisión de energía, dióxido de carbono (CO_2) y agua (H_2O) en forma de vapor.



En la combustión de los hidrocarburos tiene lugar una sucesión de fases muy complejas que comprenden un número elevado de reacciones elementales. Arriba, el diagrama muestra las principales transformaciones que se producen en la → combustión del metano (CH_4), etano (C_2H_6), etileno (C_2H_4) y acetileno (C_2H_2). En la industria, cuando se hace necesaria una combustión muy intensa, se aprovecha una mezcla de oxígeno e hidrógeno (llama oxídrica), cuya temperatura llega a 2.600 °C, o de oxígeno y acetileno (llama oxiatilénica), que alcanza los 3.500 °C.

contacto con una llama o una chispa accidental, para que la combustión dé comienzo. Normalmente se requiere un aporte continuo de calor hasta que en un punto del material se alcanza la temperatura de inflamación y se produce la ignición. Una vez iniciada, la combustión se autoalimenta debido al carácter exotérmico de las reacciones de oxidación, generando calor y transmitiéndolo a otras partes del propio combustible. Al frotar una cerilla contra el rascador, la fricción produce suficiente calor como para inflamar los productos químicos de la cabeza. Esto eleva la temperatura de la madera y del oxígeno atmosférico circundante, produciéndose la combustión del resto de la cerilla.

Aunque poco frecuente, la combustión espontánea puede darse si un cuerpo se oxida fácilmente y disipa muy mal el calor generado en la oxidación, de manera que aumenta gradualmente su temperatura hasta alcanzar el punto de inflamación. Algunos incendios ocurridos en los vertederos tienen su origen en el calor liberado por la fermentación de la materia orgánica en descomposición.

Bajo determinadas condiciones de presión y temperatura, la combustión de ciertas sustancias puede ser extremadamente rápida, generando grandes cantidades de energía calorífica y de gases que se expanden y que pueden hacer estallar el recipiente que los contiene. En este hecho se fundamentan los explosivos.

La combustión en los seres vivos Los trabajos de Priestley y Lavoisier, llevados a cabo a finales del siglo XVIII, permitieron conocer que el mantenimiento de la vida en los seres era posible gracias a reacciones internas de combustión —denominadas *oxidación biológica*— que suministran la energía necesaria para mantener la actividad del organismo y, en el caso de animales de sangre caliente, la temperatura del propio cuerpo, venciendo el desequilibrio entre ésta y la del medio líquido o gaseoso que les rodea. En ambos procesos el aire que se respira produce la oxidación del carbono y el hidrógeno contenidos en la sangre, procedentes de la digestión de los alimentos ingeridos.

Si se realiza la combustión de esos alimentos en un laboratorio, se observa que se desprende una cantidad de energía superior a la generada por su oxidación en el organismo, si bien los productos finales son los mismos: dióxido de carbono y agua. Esa pérdida de energía aprovechable en el proceso respiratorio se debe a que su cadena de reacciones es muy distinta a la de una combustión ordinaria, que lleva implícita la formación de llama, evidentemente inexistente en la oxidación biológica, que debe verificarse dentro de los límites impuestos por las condiciones vitales del organismo.

Fuentes de energía y de contaminación Entre los compuestos de carbono e hidrógeno, los más utilizados como fuente de energía son: el carbón, el gas natural y los productos derivados del petróleo. Para que su combustión sea completa, se requiere que la cantidad de aire utilizado en la misma contenga el oxígeno necesario que permita transformar todo el hidrógeno en agua y el carbono en dióxido de carbono. Si la cantidad de oxígeno empleado es inferior, la combustión se denomina incompleta y se caracteriza por la presencia de cuerpos no totalmente oxidados, como el venenoso monóxido de carbono. Tal es el caso de los gases de escape de un automóvil que contienen entre el 1% y el 8% de dicho gas, lo que representa un peligro potencial en calles estrechas o garajes mal ventilados. Cuando el aire utilizado en la combustión contiene mayor cantidad de oxígeno que la necesaria, el rendimiento disminuye, al utilizar parte de su calor para elevar la temperatura de una masa superior de aire que no contribuye en nada a la energía liberada.

La mezcla del oxígeno con el combustible se puede realizar en el momento de la combustión, como en la llama de una vela, y antes de ella, como en caso del carburador de un automóvil, donde se mezclan la gasolina y el aire. Un buen ajuste de la mezcla combustible-aire ayuda a disminuir la emisión de contaminantes y a elevar el rendimiento del motor. La reserva limitada de combustibles fósiles de bajo coste, y el impacto perjudicial que algunos productos de combustión tienen en el medio ambiente y en la salud humana han hecho que se incremente considerablemente en los últimos años la investigación en el campo de la química de la combustión, con el fin de desarrollar nuevas técnicas que quemen el combustible aprovechando al máximo su contenido energético, y eliminando, en la medida de lo posible, las fuentes de contaminantes atmosféricos.

Véase **Combustibles; Incendios, lucha contra; Oxidación y reducción; Oxígeno**

Cometa

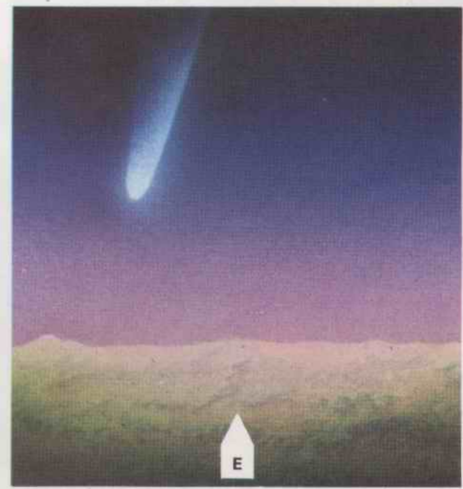
Durante muchos siglos los cometas fueron considerados como signos enviados por los dioses para anunciar a los hombres la proximidad de algún terrible desastre, e incluso para producirlo. Como los desastres nunca faltan ni han faltado en este mundo y los cometas visibles a simple vista son muy pocos, cada vez que uno de estos cuerpos celestes de larga cola llameaba dramáticamente surcando el cielo tenía asegurada —tras el presagio— la correspondiente lista de catástrofes atribuidas a su funesta influencia. No es extraño, pues, que los aterrorizados testigos del paso de cometas no hayan tenido dificultad en verlos de color rojo sangre y dotados de muchas cabezas, como monstruos mitológicos, o dotados de terribles garras de 100.000 kilómetros de longitud. Esas creencias han pervivido hasta tiempos muy recientes, y aún perviven en algunas sociedades primitivas. Para los astrónomos modernos un cometa es, sin embargo, un cuerpo muy simple. Fred Whipple, que fue director del Observatorio Astrofísico Smithsonian y es uno de los más grandes observadores —y descubridores— de cometas de todos los tiempos, ha afirmado que un cometa es simplemente "una bola de nieve sucia" y habría podido añadir que se mueve en una órbita exageradamente alargada alrededor del Sol. El término "bola de nieve sucia" se refiere al hecho de que el núcleo o "cabeza" de un cometa (al contrario de lo que ocurre con su fluctuante cola) está constituido mayoritariamente por gases sólidos congelados (metano, amoniaco, hidrocarburos, monóxido de carbono y muchos otros).

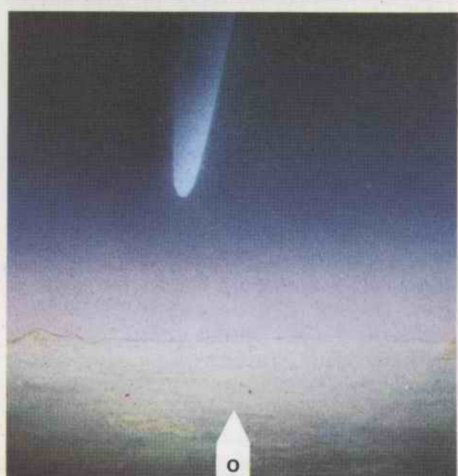
La palabra *cometa* deriva del término griego *kometes*, que significa "de larga cabellera", un vocablo que describe la fluctuante cola de muchos cometas, que en algunos puede extenderse por el espacio a lo largo de más de 550 millones de kilómetros, como es el caso del gran cometa de 1843. Casi todo el material contenido en un cometa está concentrado en su cabeza. Cuando un cometa se encuentra muy alejado en el espacio, a cientos y cientos de millones de kilómetros del Sol, es una masa congelada de forma aproximadamente esférica. A medida que se va acercando al Sol, los gases congelados se licúan y después se evaporan; el vapor que se desprende de la cabeza reluce vivamente por la influencia de los rayos ultravioletas procedentes del Sol.

Los cometas casi parecen fotografías trucadas, ya que dejan unas imágenes extremadamente claras sobre las placas fotográficas de los astrónomos, a pesar de que sus colas son de tan sutil consistencia que su *masa* (la cantidad real de materia distribuida a lo largo de su increíble longitud) les proporciona una *densidad* (cantidad de materia por unidad de volumen, es decir, por centímetro cúbico) que es en la práctica inferior a la densidad del vacío más perfecto que los físicos hayan sido capaces de conseguir hasta ahora en la Tierra.

Cuando el famoso cometa Halley fue observado por última vez, pasó entre la Tierra y el Sol, pero era demasiado transparente para formar una sombra que se pudiera ver. Como incluso los mayores cometas pueden tener una masa inferior a una millonésima de la masa de la Tierra, un astrónomo los ha definido como "sacos llenos de nada", probablemente olvidando que una millonésima de la masa de la Tierra equivale nada menos que a seis cuatrillones de toneladas.

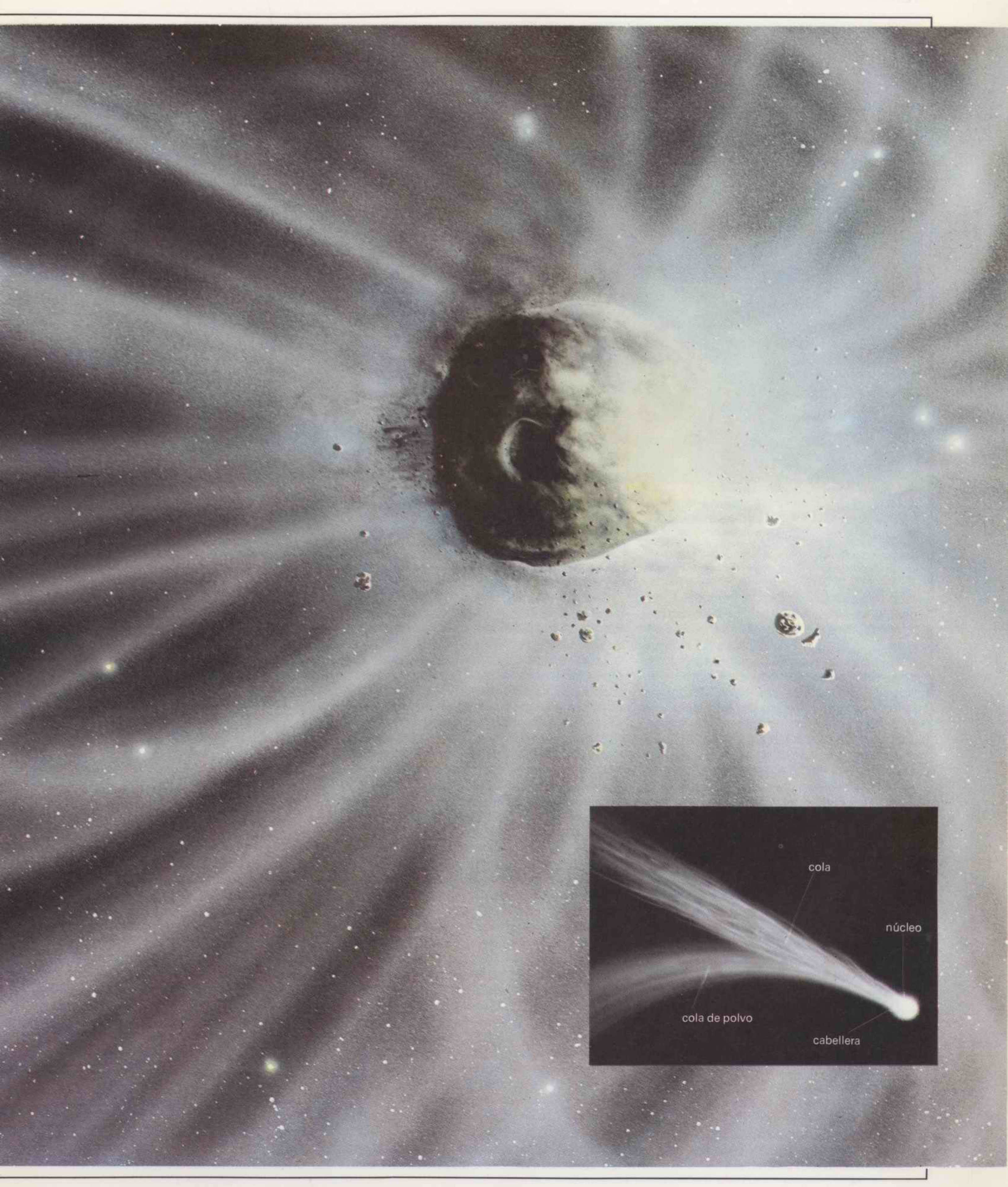
En sus órbitas extremadamente alargadas, los cometas, lo mismo que los demás cuerpos celestes que orbitan alrededor del Sol, viajan más velozmente a medida que se acercan el *perihelio* (el punto de la órbita más cercano al Sol) y después disminuyen su velocidad a medida que se acercan al punto más alejado. Los astróno-

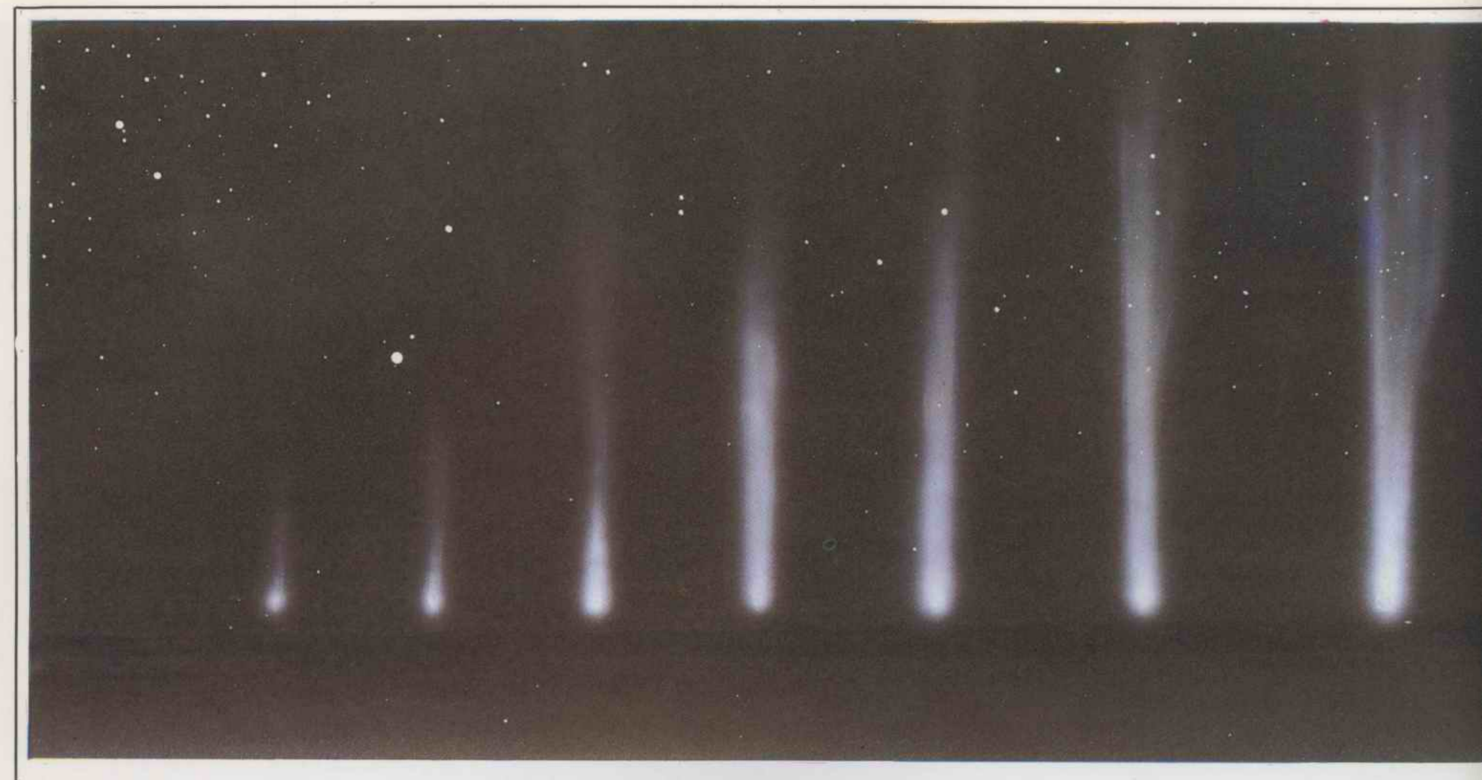






Arriba, forma de observar un cometa: como aparece más luminoso cuando se acerca al Sol, se trata de buscarlo cuando éste está un poco por debajo del horizonte, en el crepúsculo de la mañana o de la tarde. A la derecha, el cometa es un "amasijo" de gas y polvo; el gas está congelado debido a la baja temperatura del material cometario cuando se encuentra lejos del Sol. La cantidad de gas que se pierde por sublimación es mínima, pero cuando el cometa se acerca al Sol, el calor disuelve el hielo del núcleo y se evapora el líquido resultante, dicho vapor se mezcla con el polvo y se desprende del núcleo dando lugar a la cola.


cola
núcleo
cola de polvo
cabellera



Arriba, la formación de la cola y su sucesiva contracción en el cometa Halley. A gran distancia del Sol el cometa, grande o pequeño, está desprovisto de cola. A medida que se va acercando al centro del Sistema Solar la cola se desarrolla y se hace visible desde la Tierra, pero para ello es necesario que la carrera hacia el Sol haya acercado al cometa al menos hasta la órbita de Júpiter. Unicamente cuando la órbita del cometa pasa más cerca de la Tierra es posible verlo a simple vista.

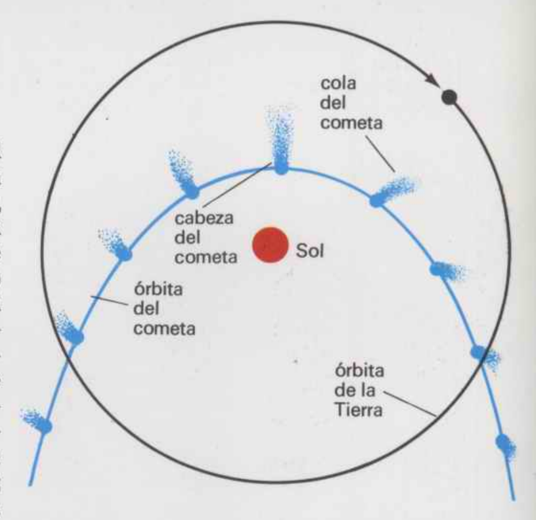
mos han calculado que la velocidad media de un cometa, cuando se encuentra a una distancia del Sol igual a la que le separa de la Tierra (149 millones de kilómetros), es de aproximadamente 42 km por segundo, y si un cometa tuviese que colisionar con el Sol, su velocidad de impacto sería de unos 620 km por segundo. Han sido cronometrados cometas con velocidades de hasta 480 km por segundo cuando se estaban acercando al perihelio, pero velocidades tan elevadas son generalmente suficientes para llevarlos a órbitas *parabólicas* o *hiperbólicas* (un recorrido en forma de V redondeada) que hacen que se pierdan para siempre en el espacio, sobre una órbita abierta, sin que jamás puedan volver al Sistema Solar.

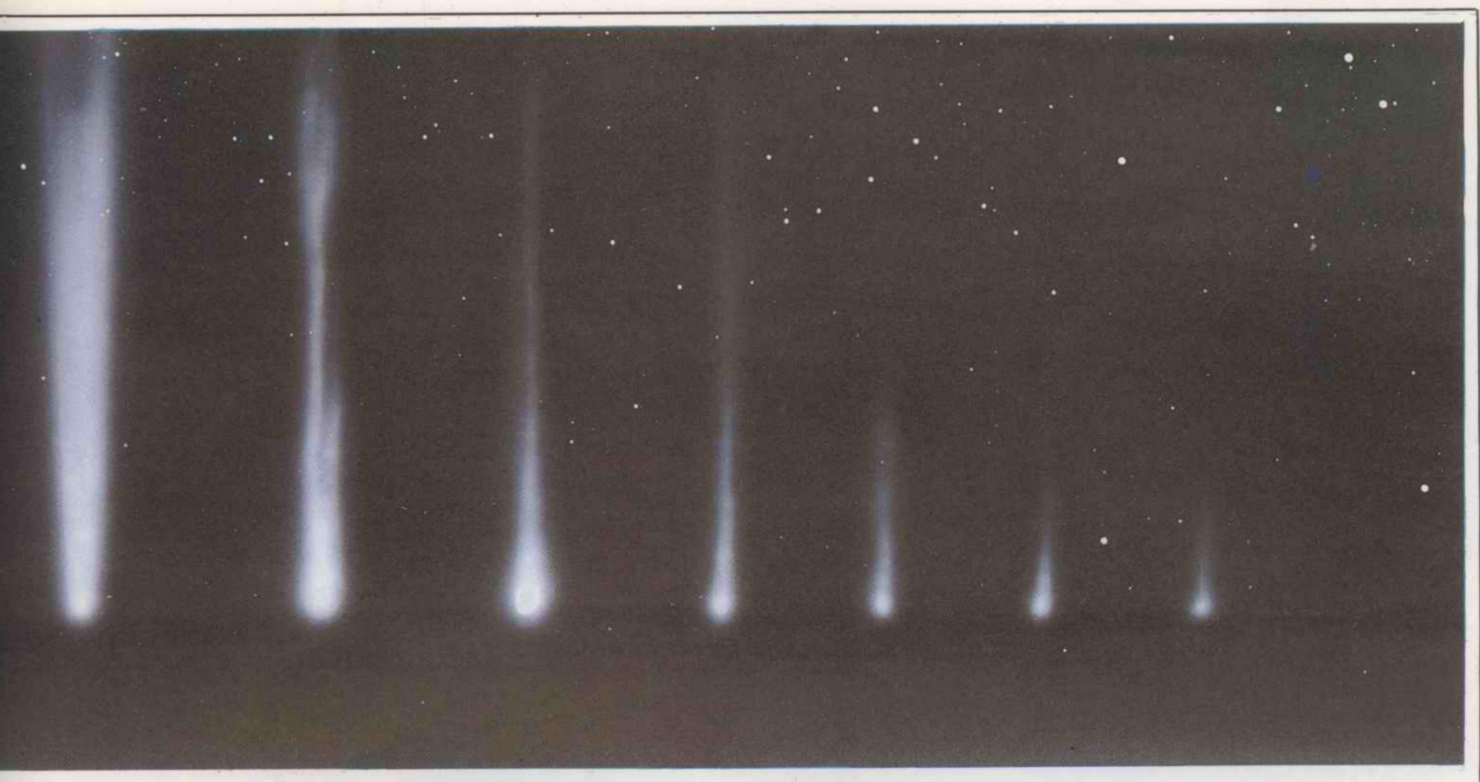
Al ser cuerpos extremadamente frágiles, los cometas cambian a menudo de aspecto. El cometa Biela, que tardaba 6,75 años en completar una órbita, se escindió en dos partes durante su aparición en 1846; ambos "minicometas" volvieron a aparecer en 1852, pero después desaparecieron.

Una de las dificultades en el estudio de los cometas consiste en el hecho de que sus órbitas sufren alteraciones cada vez que pasan cerca de uno de los planetas mayores. Estos pueden variar la órbita del cometa debido a la fuerte atracción gravitacional que ejercen. Esa atracción gravitacional produce en general una disminución del *afelio* (el punto más lejano al Sol de la órbita del cometa), aproximando la órbita a una circunferencia.

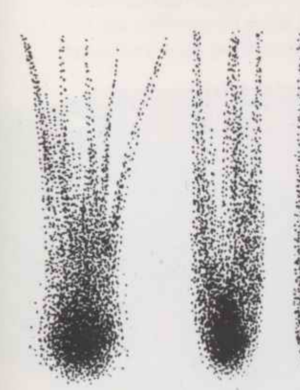
Durante los últimos años, además del cometa Kohoutek (que nunca alcanzó la fuerte luminosidad que se había previsto), otros cometas visibles a simple vista han sido el cometa Arend-Roland (abril de 1957), el cometa Mrkos (agosto de 1957) y el cometa de Bennett, que tampoco han ofrecido un aspecto demasiado impresionante. El cometa Halley viene apareciendo con intervelos de 75 ó 76 años desde hace siglos. En el siglo XVII Halley presentó la hipótesis de que el cometa observado en 1682 era el mismo cuya aparición había sido registrada en 1531 y en 1607; además anunció su siguiente aparición para el año 1758. Cuando se realizó esta predicción (Halley ya había muerto), los científicos se dieron cuenta de que los cometas formaban parte del maravilloso mecanismo del Sistema Solar y no eran apariciones casuales. Por fin se inició un estudio serio de los cometas. Halley era, además, íntimo amigo de sir Isaac Newton, el gran físico cuyos hallazgos sirvieron como base indiscutible para explicar el funcionamiento del Universo hasta los descubrimientos de Albert Einstein a principios del presente siglo; Halley contó con la colaboración de Newton para la realización de los complicados cálculos matemáticos necesarios para el estudio de la órbita del cometa, que reapareció por última vez en 1910 y se espera que vuelva a nuestra zona del Universo a principios de 1986.

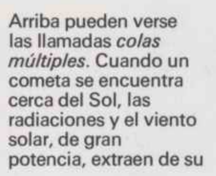
Desde los tiempos de Halley hasta hace 50 años, los científicos consideraban que los cometas tenían su origen en los límites extremos del espacio exterior; pero si así fuese, deberían viajar a una velocidad tan elevada al acercarse al Sol que no podrían entrar en la órbita sino que la superarían, perdiéndose en el espacio sin posibilidad de regresar. Y si vinieran del espacio exterior, la mayor parte debería acercarse desde las proximidades de la constelación de Hércules, que es hacia donde se está dirigiendo el Sistema Solar. Sin embargo, ninguna de estas consideraciones es válida, así que el origen de los cometas debe explicarse de otro modo. Un especialista en cometas, el astrónomo holandés J. H. Oort, ha propuesto una teoría según la cual existe una inmensa nube de cometas a una distancia de 150.000 unidades astronómicas (una unidad astronómica es una unidad de medida representada por la distancia de la Tierra al Sol), y considera que el efecto gravitacional de las otras estrellas es suficiente para ex-





La disposición de la cola de un cometa (arriba) es siempre en la dirección opuesta a la dirección de la que procede la luz del Sol. Pero, además de la luz, también el viento solar "sopla" la cola. Arriba puede verse, también, la fase de contracción de la cola del cometa Halley hasta su total desaparición, característica de las grandes distancias. La pérdida de los gases que constituyen la cola empobrece la masa del cometa en cada acercamiento al Sol. Al final el cometa se hace pequeño y por lo tanto invisible o se disgrega totalmente. El número de veces que ha sido observado el cometa en posesión de su vistosa cola da una medida de su masa. El cometa Halley, por ejemplo, ha sido visto cerca del Sol varias veces sin presentar una disminución apreciable de su capacidad para generar la cola y es uno de los mayores cometas conocidos desde el punto de vista de su masa. Parte del material desprendido a lo largo de su carrera viene a parar a la Tierra en forma de lluvia de meteoritos.





Arriba pueden verse las llamadas *colas múltiples*. Cuando un cometa se encuentra cerca del Sol, las radiaciones y el viento solar, de gran potencia, extraen de su núcleo gases y también fragmentos pesados de material que a mayores distancias no podrían dispersarse con esa facilidad.

traer un cometa que se encuentre ocasionalmente separado de la nube e introducirlo en una órbita que lo lleva cerca del Sol.

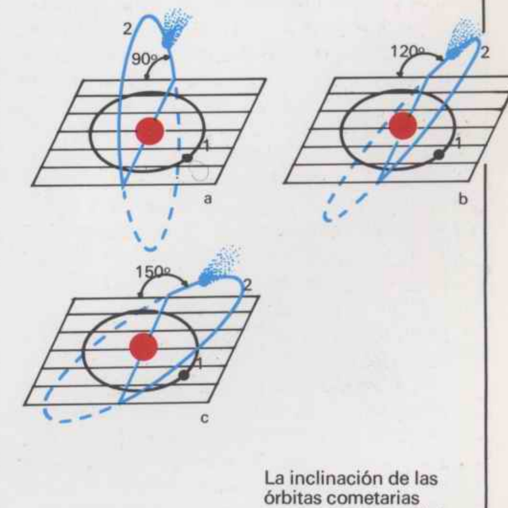
Esto significa que debe existir un gran número de cometas que nadie ha visto, ya que únicamente un número limitado de los mismos entra en la órbita alrededor del Sol. Oort y su colega Van Woerden consideran que el número total de esos remotos cometas jamás observados es de alrededor de 100.000 millones.

El cuartel general de los observadores de cometas se encuentra en el Harvard Smithsonian Center de Astrofísica. En ese centro los astrónomos escrutan constantemente el cielo a la búsqueda de nuevos cometas y de nuevos datos sobre los ya observados. También hay muchos aficionados interesados en el tema.

Los cometas son inicialmente clasificados mediante un número que indica el año en que han sido descubiertos, seguido por una letra minúscula que se refiere al orden en que han sido avistados dentro de un determinado año. Por ejemplo, 1980e significa que es el quinto cometa observado en 1980; posteriormente, cuando se ha determinado el momento exacto en el que el cometa ha alcanzado el perihelio, la designación numérica es transformada en una fecha seguida por un número romano; si 1980e es el tercer cometa que alcanza el perihelio en 1991, será llamado 1991 III. En este momento será también bautizado con el nombre de su descubridor.

Si por casualidad descubre Vd. un cometa, envíe rápidamente un telex al 710-3206842 ASTROGRAM CAM, y posteriormente una carta ofreciendo el mayor número posible de detalles respecto a la observación. La carta debe dirigirse a: Central Bureau for Astronomical Telegrams, Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, 60 Garden St., Cambridge, Mass. (02138), Estados Unidos.

Véase **Gravedad y gravitación; Sistema Solar**



La inclinación de las órbitas cometarias respecto al plano de la órbita de la Tierra puede ser muy fuerte, por esta razón los cometas se encuentran a menudo alejados del Zodiaco.

Compresor de gas

Un martillo neumático capaz de destruir el asfalto, un aerógrafo que se utiliza en artes gráficas, un frigorífico moderno: los tres funcionan con la ayuda de un compresor, una máquina concebida para aumentar la presión de los gases. Un gas comprimido, cuando se deja expander, es capaz de realizar un trabajo exactamente igual a un muelle metálico. Tanto el aerógrafo como el martillo neumático son accionados por aire comprimido. Los frigoríficos utilizan distintos gases, pero, independientemente del gas empleado, todos los compresores funcionan según los mismos principios.

Existen dos tipos fundamentales de compresores: de *émbolo* y *rotativo*. Un ejemplo sencillo de compresor de émbolo es la bomba de la bicicleta.

Compresores de émbolo Al igual que la bomba de mano utilizada para inflar las ruedas de las bicicletas, todos los compresores de émbolo están compuestos por un cilindro con un pistón y válvulas que dirigen el flujo del gas. Cuando se tira hacia fuera del mango de una bomba de bicicleta, el aire entra en el cilindro; cuando el mango es empujado hacia dentro se empuja el aire comprimido hacia la rueda. Si el émbolo está conectado a un motor y las válvulas de entrada y salida de gas están controladas mecánicamente, pueden obtenerse presiones elevadas. Los compresores con motor se emplean en los frigoríficos domésticos, en los que primero se comprime un gas y luego se deja expander. Al comprimir un gas, sus moléculas se aproximan unas a otras: esto aumenta el número de colisiones entre las moléculas y genera calor. Por el contrario, cuando se deja expander, su temperatura desciende y el gas puede absorber calor. En un frigorífico, un gas expandido absorbe el calor de la zona en la cual se conservan los alimentos. El gas es posteriormente comprimido y enfriado antes de expanderse de nuevo. En 1844, el médico norteamericano John Gorrie construyó en su hospital de Florida una máquina que conducía gas y enfriaba el aire, empleando aire como gas en el ciclo de expansión-compresión: fue el primer acondicionador de aire. Desde entonces han sido utilizadas distintas sustancias, como el amoniaco, el dióxido de carbono y refrigerantes creados por el hombre, que no son tóxicos, como por ejemplo el fluorocarburo freón.

Compresores rotativos En un compresor centrífugo se introduce el gas en un cilindro que contiene un rotor de paletas que gira a alta velocidad. Mediante el giro de las paletas, el gas es empujado hacia el borde exterior del rotor, al igual que las personas subidas en un tiovivo que gira velozmente son empujadas hacia el exterior. El gas se comprime contra las paredes del cilindro a una presión superior a la que tenía cuando entró, y sale por una válvula situada en la parte del cilindro próxima al eje del rotor. En otro tipo

La compresión de los gases representa una actividad importante tanto en las industrias como en las viviendas. Un ejemplo clásico son los frigoríficos domésticos, en los que la expansión de un gas comprimido provoca la absorción de calor del ambiente y por lo tanto su refrigeración. En las actividades industriales se emplea la compresión de los gases en numerosísimas aplicaciones, en la producción de mezclas gaseosas de hidrocarburos, por ejemplo. Los compresores pueden ser de distintas dimensiones. En el dibujo vemos un compresor de gas monocilíndrico, enfriado por aire y lubricado por barboteo.

de compresor rotativo, dos rotores helicoidales giran sin tocarse en el interior de una cámara en la cual entra el gas. El gas, aspirado por su extremo, es comprimido entre los rotores y descargado luego por una válvula giratoria.

Muchas máquinas comprimen aún más el gas, enfriándolo y haciéndolo pasar a través de una serie de compresores de émbolo o rotativos. Existe un tipo de compresor que se sirve de un cierto número de estadios de compresión: se llama compresor de estadios múltiples de flujo axial. En este tipo de compresor rotativo, el gas pasa a través de una serie de rotores contenidos en una envoltura exterior. Intercalados entre cada serie de álabes móviles del rotor, llamadas también paletas aceleratrices, se encuentran los álabes fijos que frenan el gas antes de que sea aspirado por los rotores siguientes. En cada estadio la sección entre las paletas del rodete va en disminución para aumentar la presión del gas. Los compresores de flujo axial se emplean en los motores de turbina que mueven los alternadores que producen la electricidad, y en los motores de los aviones a reacción.

Los compresores se utilizan en los gaseoductos para que el gas pueda vencer las resistencias que encuentra en su flujo por las tuberías. Forman parte también de los sistemas de refrigeración empleados para licuar los gases que se utilizan como combustibles, en criogenia, y en otros procesos industriales.

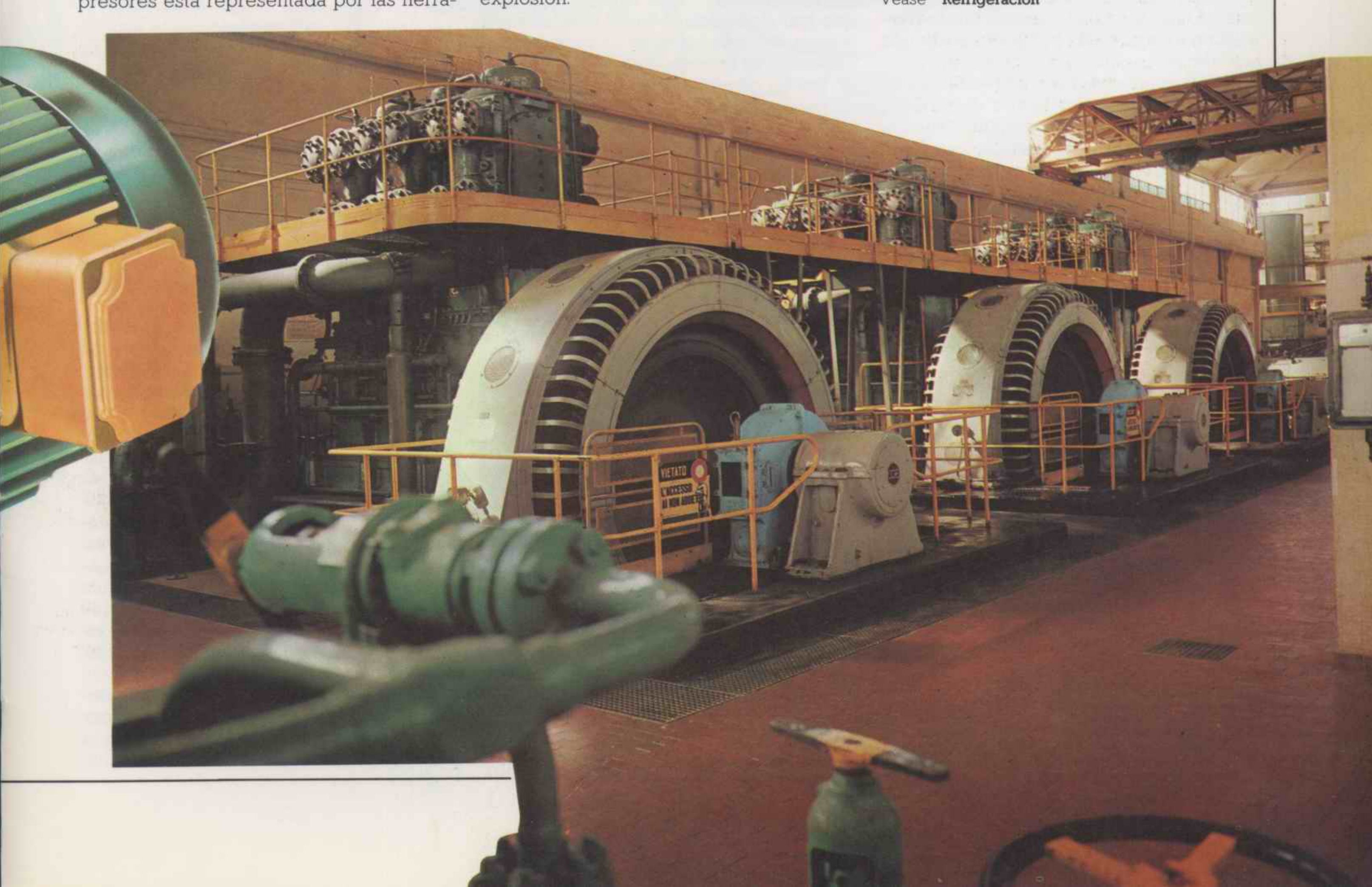
Una utilización más familiar de los compresores está representada por las herramientas accionadas por aire comprimido. A menudo pueden verse, en los lugares donde se están efectuando reparaciones en el firme de las carreteras, compresores montados sobre pequeños remolques. El martillo neumático, el taladro del minero y el aerógrafo del pintor son herramientas neumáticas. En las herramientas que funcionan de la misma forma que el martillo neumático y el taladro hay un motor de aire que trabaja al contrario que un compresor: es decir que el aire, expandiéndose en un cilindro, empuja un émbolo que a su vez acciona la punta que penetra en la roca o en el asfalto. Otro flujo de aire comprimido en el lado opuesto del émbolo lo empuja a la posición que tenía inicialmente en el cilindro. Durante su funcionamiento, un martillo neumático golpea el asfalto varios miles de veces por minuto.

La amoladora circular, otra herramienta neumática, trabaja al contrario que un compresor rotativo. El aire entra por un tubo en el rodete y con su presión hace girar las paletas montadas sobre un eje central que se conecta con la rueda de la amoladora y la hace girar rápidamente. En los motores de aire comprimido de las herramientas neumáticas puede también invertirse su sentido de rotación sin dañar el mecanismo. Estas máquinas pueden ser empleadas también en zonas húmedas sin peligro de descargas eléctricas y en ambientes que contengan gases explosivos, como en las minas por ejemplo, sin el riesgo de provocar chispas y producir una explosión.

Instalación de compresión de gas constituida por un compresor bicilíndrico de dos estadios enfriado por agua. Abajo, un gigantesco compresor utilizado para comprimir, hasta 300 atmósferas, mezclas de dióxido de carbono e hidrógeno en una instalación de *cracking* catalítico de metano

El pequeño aerógrafo, con forma de lapicero, que se utiliza en las artes gráficas, trabaja mezclando una pequeña cantidad de pintura con un flujo de aire procedente de un pequeño dispositivo de aire a presión. Una versión más potente del aerógrafo es la pistola a chorro empleada en el pintado industrial y que es accionada por el aire comprimido producido por grandes compresores, permitiendo pintar rápidamente grandes superficies.

Véase **Refrigeración**



Concepción

La concepción es el fenómeno por el cual la fusión de dos células sexuales, también denominadas *gametos*, origina un nuevo ser que recibe el nombre de *huevo fecundado* o *cigoto*. Los gametos se forman independientemente en cada individuo adulto de una especie a través de un proceso llamado *gametogénesis*. Los espermatozoides se desarrollan en el testículo del varón, mientras que los óvulos se forman en el ovario femenino. Los fenómenos anteriores a la concepción propiamente dicha están constituidos por la gametogénesis y por el tránsito de las células sexuales hasta su fusión en el aparato femenino. Tras la fusión de los gametos tiene lugar la emigración del cigoto hacia la mucosa uterina, donde se desarrollará hasta convertirse en un feto maduro.

Formación de los espermatozoides La formación de los espermatozoides, o espermatogénesis, tiene lugar en los tubos seminíferos, unos canales muy delgados que se encuentran en el interior de los testículos. Las paredes de estos canales están recubiertas por unas células germinales llamadas *espermatogonias* que son, en cierto modo, las células madres de los espermatozoides. Gracias al estímulo de la glándula hipofisaria, mediado a través de unas hormonas llamadas gonadotropinas, las espermatogonias se multiplican y se diferencian, dando finalmente lugar a los espermatozoides. El espermatozoide maduro es una célula pequeña, alargada y móvil, provista de un voluminoso núcleo coronado por una *acrosoma*, organoide celular que contiene enzimas. Posee también una larga cola, el *flagelo*, constituida por fibrillas móviles.

La espermatogénesis se efectúa en el varón ininterrumpidamente a partir de la pubertad y origina un gran número de espermatozoides, ya que en cada centímetro cúbico de semen existen entre 30 y 100 millones de estas células. Los espermatozoides son células haploides, esto es, poseen la mitad de la dotación genética propia de la especie (en el hombre tienen 23 cromosomas), ya que al unirse al óvulo, que también es haploide, formarán una célula huevo diploide (en el hombre, 46 cromosomas).

Formación de los ovocitos Los óvulos u ovocitos, células sexuales femeninas, se originan y desarrollan en el interior del ovario femenino a través de un lento proceso de maduración que dura unos 14 días. Durante este período el óvulo se encuentra rodeado por una serie de células que le proporcionan protección y alimento, y que en su conjunto constituyen los llamados *folículos ováricos*. Cuando un folículo madura por completo, se rompe, liberando el ovocito en el seno de la trompa uterina. Este fenómeno se produce normalmente cada 28 días y recibe el nombre de *ovulación*. La formación del gameto femenino es, a diferencia de lo que ocurre en el sexo masculino, un fenómeno cíclico, discontinuo, y en cada ovulación se libera solamente un ovocito. También en el sexo femenino es necesaria la estimulación por parte de las gonadotropinas hipofisarias para que un folículo se desarrolle y llegue a madurar. Al igual que sucedía con el gameto masculino, el ovocito es una célula haploide (posee 23 cromosomas), pero de un tamaño mucho mayor, de forma redondeada y rodeada por una membrana pelúcida y una capa de células que forman la llamada corona *radiata*.

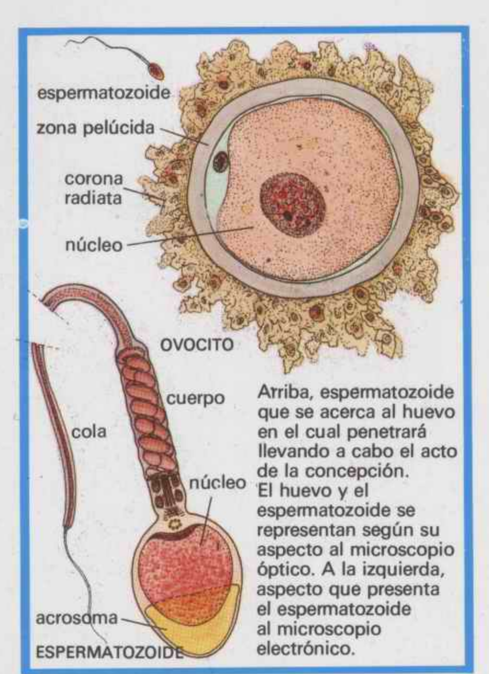
La gametogénesis femenina tiene lugar desde la pubertad hasta la menopausia.

Inseminación En el momento de la eyaculación se depositan en la vagina de 2 a 5 centímetros cúbicos de esperma, que contienen entre 60 y 500 millones de espermatozoides. Sólo uno de ellos llegará a unirse al ovocito dando lugar a la fecundación. Para que eso ocurra es preciso que los espermatozoides asciendan a través de las vías genitales femeninas. En primer lugar estas células deben franquear el canal cervical y llegar a la cavidad uterina; esto sólo lo consiguen unos pocos millones de espermatozoides. De estos pocos millones sólo algunos miles llegarán hasta las trompas gracias a los movimientos de su flagelo. Finalmente, sólo unos centenares de espermatozoides consiguen llegar hasta los tercios externos de las trompas, lugar donde tendrá efecto la fecundación (pero sólo en uno de los dos lados, ya que sólo se produce un ovocito en cada ciclo).

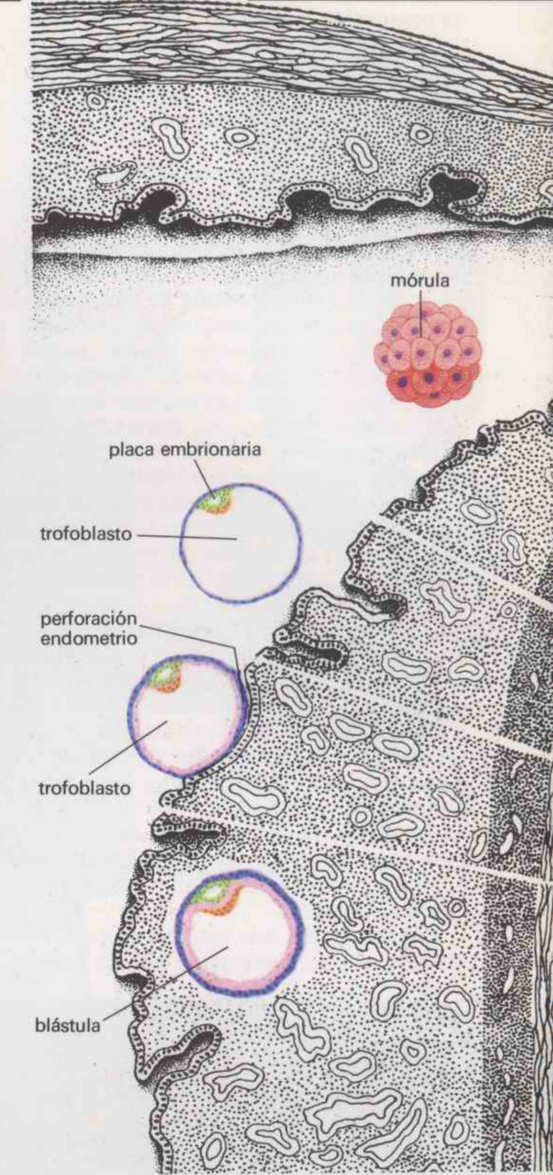
Fecundación Los espermatozoides que han alcanzado el tercio externo de la trompa del lado donde se ha producido la ovulación se encuentran al ovocito rodeado por su membrana pelúcida y su corona radiata. Esta última se desprende gracias a los enzimas de los espermatozoides, y algunos de éstos son capaces de entrar en la membrana pelúcida, también gracias a las enzimas producidas por el acrosoma. A continuación un solo espermatozoide se adhiere a la membrana celular del ovocito y fusiona su propia membrana con la de éste, de tal manera que el material nuclear del espermatozoide penetra en el interior de la célula femenina. La cola de este espermatozoide permanece fuera y el resto de los espermatozoides ya no pueden penetrar.

El núcleo procedente del espermatozoide que ha fecundado al ovocito se coloca al lado del núcleo de éste; se habla entonces de pronúcleo masculino y pronúcleo femenino. La fusión de los dos pronúcleos da lugar a la generación de un cigoto o huevo fecundado, es decir, un nuevo ser portador de la dotación genética completa característica de su especie (46 cromosomas en la especie humana); el cigoto es, por lo tanto, una célula diploide.

Desarrollo del cigoto e implantación uterina El cigoto, que está constituido por una sola célula, comienza a dividirse y a desarrollarse. Al mismo tiempo es trans-

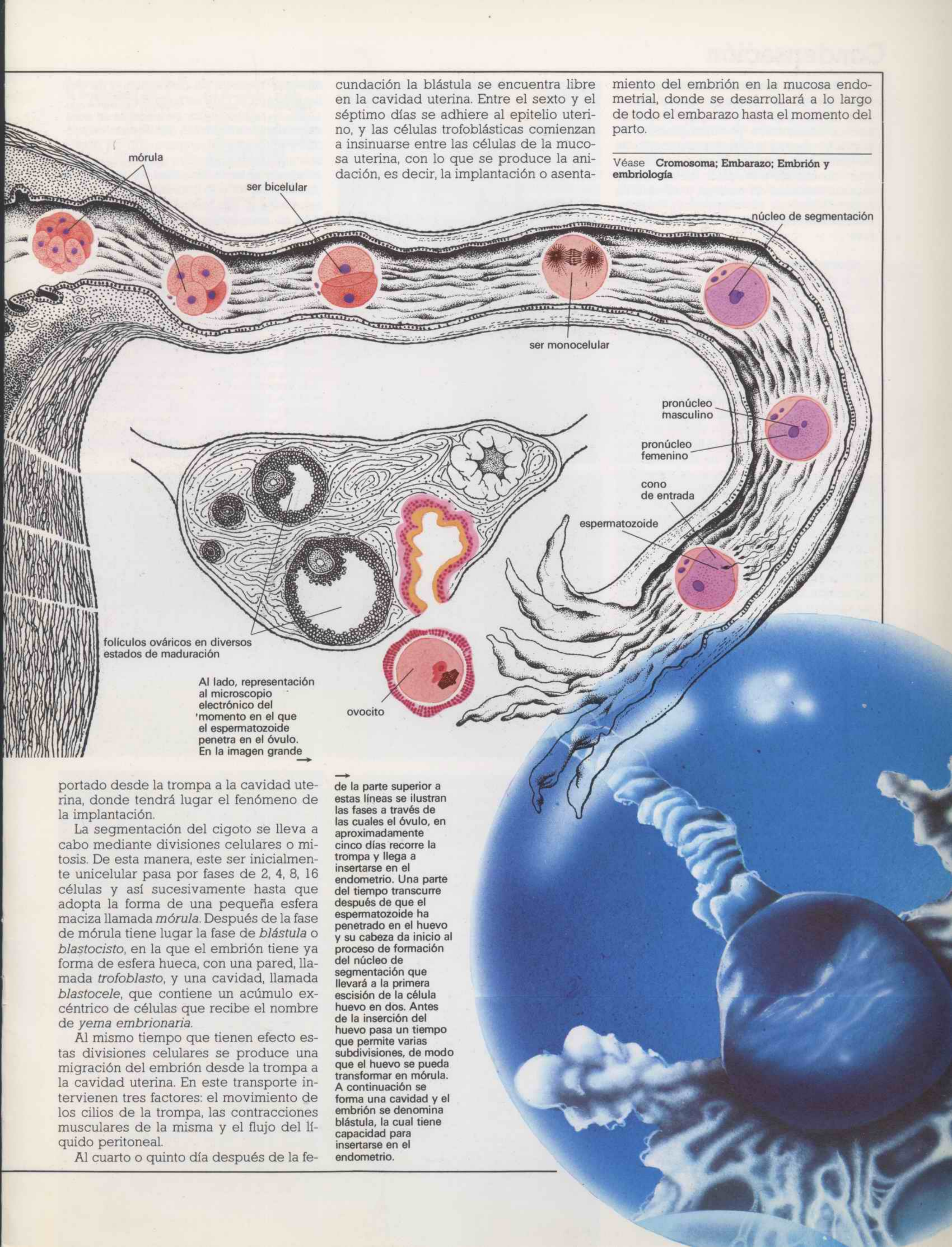


Arriba, espermatozoide que se acerca al huevo en el cual penetrará llevando a cabo el acto de la concepción. El huevo y el espermatozoide se representan según su aspecto al microscopio óptico. A la izquierda, aspecto que presenta el espermatozoide al microscopio electrónico.



cundación la blástula se encuentra libre en la cavidad uterina. Entre el sexto y el séptimo días se adhiere al epitelio uterino, y las células trofoblásticas comienzan a insinuarse entre las células de la mucosa uterina, con lo que se produce la anidación, es decir, la implantación o asentamiento del embrión en la mucosa endometrial, donde se desarrollará a lo largo de todo el embarazo hasta el momento del parto.

Véase **Cromosoma; Embarazo; Embrión y embriología**



Al lado, representación al microscopio electrónico del momento en el que el espermatozoide penetra en el óvulo. En la imagen grande → de la parte superior a estas líneas se ilustran las fases a través de las cuales el óvulo, en aproximadamente cinco días recorre la trompa y llega a insertarse en el endometrio. Una parte del tiempo transcurre después de que el espermatozoide ha penetrado en el huevo y su cabeza da inicio al proceso de formación del núcleo de segmentación que llevará a la primera escisión de la célula huevo en dos. Antes de la inserción del huevo pasa un tiempo que permite varias subdivisiones, de modo que el huevo se pueda transformar en mórula. A continuación se forma una cavidad y el embrión se denomina blástula, la cual tiene capacidad para insertarse en el endometrio.

portado desde la trompa a la cavidad uterina, donde tendrá lugar el fenómeno de la implantación.

La segmentación del cigoto se lleva a cabo mediante divisiones celulares o mitosis. De esta manera, este ser inicialmente unicelular pasa por fases de 2, 4, 8, 16 células y así sucesivamente hasta que adopta la forma de una pequeña esfera maciza llamada *mórula*. Después de la fase de mórula tiene lugar la fase de *blástula* o *blastocisto*, en la que el embrión tiene ya forma de esfera hueca, con una pared, llamada *trofoblasto*, y una cavidad, llamada *blastocele*, que contiene un acúmulo excéntrico de células que recibe el nombre de *yema embrionaria*.

Al mismo tiempo que tienen efecto estas divisiones celulares se produce una migración del embrión desde la trompa a la cavidad uterina. En este transporte intervienen tres factores: el movimiento de los cilios de la trompa, las contracciones musculares de la misma y el flujo del líquido peritoneal.

Al cuarto o quinto día después de la fe-

Condensación

En Física se denomina *condensación* al paso de un cuerpo en estado gaseoso a estado líquido, y se puede realizar por enfriamiento o por compresión. Su nombre expresa la drástica reducción de volumen que tiene lugar en el proceso, y que va asociada a la cesión de una determinada cantidad de energía a su entorno (*calor latente de condensación*), características del cuerpo que sufre el cambio de fase.

Movimientos moleculares En un gas las moléculas se encuentran en un permanente movimiento desordenado que provoca continuos choques entre sí y con las paredes del recipiente que lo contiene. En este estado de agitación constante, la distancia entre moléculas es tan grande en comparación a su volumen que las fuerzas de atracción mutua son despreciables y, por tanto, puede considerarse que toda la energía que poseen las moléculas es cinética. Al extraer calor de un gas, su temperatura desciende, y en la misma proporción la energía cinética de las moléculas disminuye, sus movimientos se hacen más lentos y la densidad del gas aumenta. A una cierta temperatura, propia de cada sustancia y conocida como *temperatura de condensación*, las fuerzas de atracción intermoleculares son lo suficientemente intensas como para vencer la repulsión debida a los choques y se produce la condensación. La libertad de movimientos de las moléculas decrece considerablemente y las fuerzas de cohesión adquieren un papel preponderante. Las propiedades químicas del gas permanecen inalteradas, pero su densidad, compresibilidad y viscosidad sufren una fuerte variación.

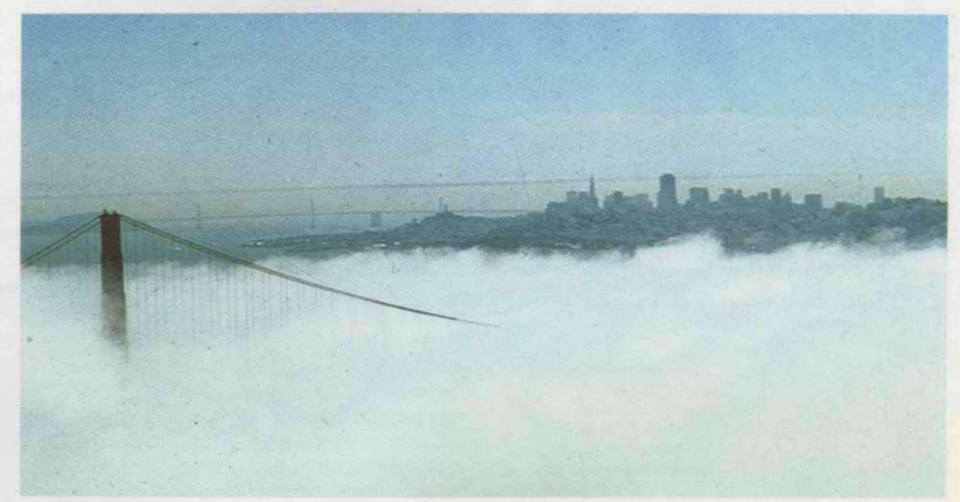
La condensación puede conseguirse también comprimiendo el gas. Al reducir progresivamente su volumen llega un momento en que las moléculas gaseosas, obligadas a agruparse, están tan próximas que los valores de las fuerzas intermoleculares de cohesión empiezan a no ser despreciables. Si la compresión continúa, estas fuerzas llegan a ser suficientemente intensas como para mantener unidas las moléculas, absorbiendo la energía cinética de sus mutuos choques e impidiendo su separación. Alcanzado este punto, comienza la condensación.

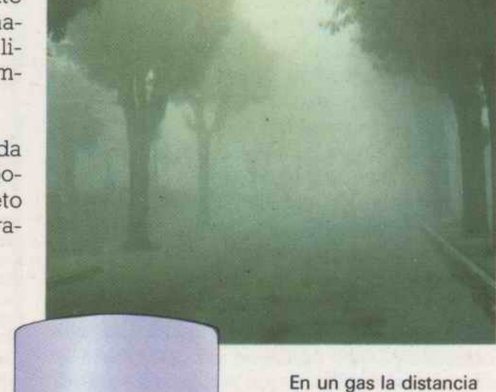
Existe, no obstante, una temperatura, llamada *temperatura crítica*, por encima de la cual la agitación térmica es lo bastante violenta como para impedir la aproximación de las moléculas, y no es posible licuar el gas por mucho que se le comprima.

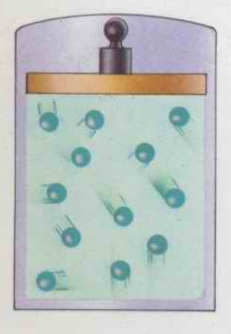
Destilación Es una operación basada en uno o en múltiples procesos de evaporación-condensación, y tiene por objeto separar un líquido de las materias extrañas que contiene en disolución, o de otro líquido con el cual se halla mezclado.

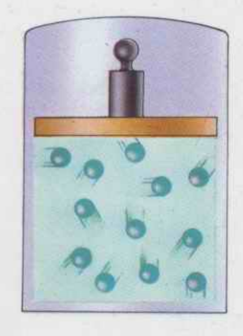
En el primer caso, se calienta la solución hasta la ebullición del líquido, se produce entonces la evaporación de éste y una separación efectiva de las sustancias sólidas que tenía disueltas. En el caso de una mezcla de dos líquidos, éstos pueden separarse si sus temperaturas de ebullición no son iguales, ya que siempre uno

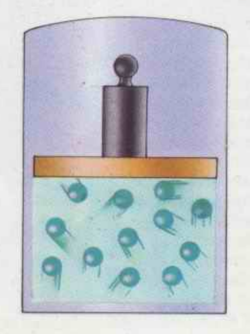
Los procesos de evaporación y condensación son muy frecuentes en la Naturaleza y de vital importancia para configurar el clima del planeta. El vapor de agua atmosférico proviene en su mayoría de la evaporación oceánica, pudiendo ser transportado por los vientos hasta remotas regiones. Sin embargo, un enfriamiento de la masa de aire en que se encuentre dicho vapor de agua puede provocar su condensación en diminutas gotas de agua líquida que son visibles en forma de neblina, niebla y nubes. En determinadas circunstancias, el agua contenida en las nubes se precipita al suelo en forma de lluvia o nieve y en condiciones extremas en forma de granizo.

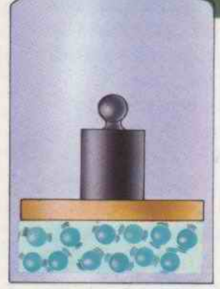












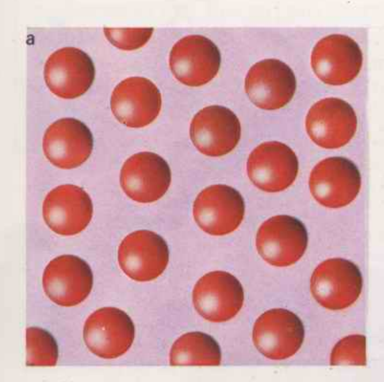
En un gas la distancia media entre sus moléculas es muy superior al radio de influencia de las fuerzas de atracción intermolecular, pero si lo comprimimos progresivamente, sus moléculas se ven obligadas a agruparse hasta restringir el libre movimiento y producir la condensación.

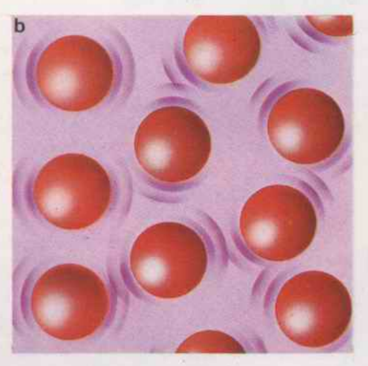
Además de la presión, la temperatura ejerce una influencia decisiva sobre la condensación. Al calentar un líquido (a), aumenta la agitación de sus moléculas (b) hasta un punto en que éstas venciendo la atracción mutua se evaporan pasando al estado gaseoso (c), donde se mueven caóticamente. Si enfriamos ahora el gas, las moléculas disminuyen su energía cinética, se aproximan entre sí y se favorece la reordenación causada por las fuerzas de cohesión intermoleculares, volviendo a la configuración primitiva (d).

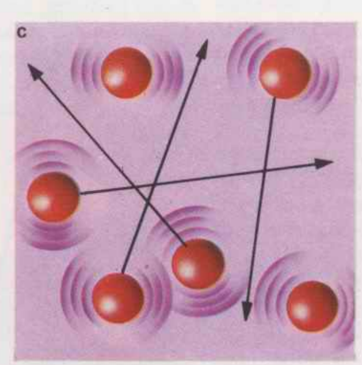
de ellos pasa a estado gaseoso antes que el otro. En ambos casos es necesario volver el líquido a su estado primitivo, condensándolo de nuevo.

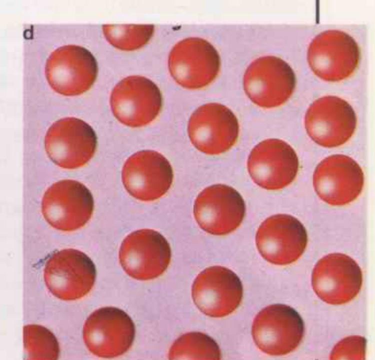
El equipo que se utiliza para la destilación de licores se denomina *alambique*. En su versión más simple consta de un matraz para la evaporación, un condensador con un líquido refrigerante y un depósito para recoger el producto destilado.

Condensación en la atmósfera La mezcla de gases que forma la atmósfera y que llamamos *aire* contiene grandes cantidades de vapor de agua, especialmente en sus primeros kilómetros. A diferencia de otros constituyentes, su concentración muestra una gran variabilidad, con una fuerte dependencia de la temperatura del aire; 1 m³ a 30 °C puede contener hasta 30 gramos de agua en estado gaseoso, mientras que el mismo volumen a una temperatura de –10 °C admite poco más de 2 gramos. Cuando por alguna causa una mezcla de aire se enfría, disminuye progresivamente su capacidad para tener vapor de agua. Al llegar a una cierta temperatura el aire contiene todo el agua en estado gaseoso que puede admitir en su interior, y se dice que ha alcanzado el punto de *saturación*. Un enfriamiento por debajo de este punto conduce a la condensación del vapor de agua excedente sobre pequeñas partículas en suspensión existentes en el aire, denominadas *núcleos de condensación* y constituidas, en su mayor parte, de polvo volcánico y sal marina, dando origen a la aparición de nieblas, rocío, y distintos tipos de formaciones nubosas.

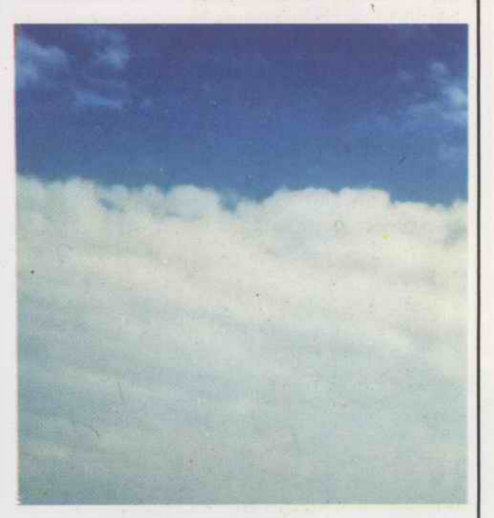














Véase **Agua, ciclo del; Destilación**

Condensadores y resistencias

El flujo de corriente eléctrica a través de un circuito se puede comparar a la circulación de agua por un sistema de tuberías. A menudo, los flujos de agua no son continuos y se utilizan aparatos como bombas, sifones y grifos para controlarlos. También la circulación de electricidad se puede regular, siendo los *condensadores* y las *resistencias* dos de los posibles dispositivos utilizados con este fin. Los condensadores almacenan energía eléctrica, y una aplicación muy común de éstos son los circuitos sintonizadores de radio. Las resistencias, que se utilizan en gran número de circuitos, regulan la cantidad de flujo eléctrico que circula por el circuito.

Circuitos eléctricos Una corriente eléctrica es un flujo de pequeñas partículas con carga eléctrica, llamadas *electrones*, a través de un material llamado *conductor*. La corriente, que en el lenguaje abreviado de la ingeniería eléctrica tiene el símbolo *I* (intensidad), se mide en unidades llamadas *amperios*. Una corriente de un amperio es el flujo a través de una sección del conductor de una cantidad de carga de 1 *culombio* (6,28 x 10^{18} electrones) en 1 segundo. La "presión" que empuja a los electrones, análoga a la presión hidrostática, se llama fuerza electromotriz o diferencia de potencial, y las fuentes que la producen son las baterías y generadores. Mientras que la presión hidrostática se mide en kilogramos por metro cuadrado,

A la derecha, un modelo antiguo de condensador, la botella de Leyden. Estaba formado por una auténtica botella de vidrio llena y cubierta de papel de estaño. Un conductor que atravesaba el tapón permitía cargar el estaño interior. Con un descargador bien aislado se podía obtener una potente chispa. Debajo, el condensador moderno de aislante metalizado en las dos caras opuestas.

Distintos tipos de condensadores. A la izquierda, el típico condensador variable que se usa en radiotecnia. Se utiliza para variar la respuesta de los circuitos oscilantes de las radios, tanto receptoras como transmisoras. Existen también versiones miniaturizadas, como las representadas más a la derecha; el ajuste se realiza a través de un tornillo. Los otros condensadores se construyen enrollando juntas hojas de aluminio y de plástico. En los montajes en los que se necesite un condensador de gran capacidad y no estén destinados para corriente alterna, se utilizan condensadores electrolíticos.

la fuerza electromotriz se mide en unidades de tensión eléctrica, llamadas *voltios* y cuyo símbolo es *V*.

Para describir un circuito eléctrico y los componentes que lo forman se necesita también utilizar la unidad de resistencia. Si el agua que circula por un sistema de tuberías no encontrase resistencia, podría en principio circular eternamente. Pero debido a que el agua está frenada por el rozamiento con las paredes de la tubería, se necesita una fuerza que empuje continuamente. *Resistencia* es el nombre dado a la oposición presentada a la circulación de corriente en un conductor. Cuando los electrones atraviesan un conductor, su velocidad está frenada por los efectos de las fuerzas eléctricas de los átomos que forman el material.

Cada material, por muy buen conductor que sea, tiene una cierta resistencia eléctrica. La resistencia *R* se mide en unidades llamadas *ohmios*, y 1 ohmio es la resistencia de un conductor que permite el paso a su través de una corriente de 1 amperio cuando en sus terminales se ha aplicado una diferencia de potencial de 1 voltio. Esto está también expresado en la fórmula

$$R=V/I$$

que es la expresión matemática de la ley de Ohm.

Condensadores Los condensadores se utilizan en los circuitos eléctricos por su propiedad de almacenar carga eléctrica. Los condensadores son componentes fundamentales en los aparatos de radio y televisión —un componente esencial del sintonizador es el condensador— y de aparatos que necesitan el paso de corriente eléctrica durante cortos espacios de tiempo, como son los *flash* de fotografía. Un condensador está formado por dos placas paralelas de material conductor, como puede ser un metal, separadas por un material aislante llamado *dieléctrico*, y cada una de ellas conectadas a un hilo o terminal. Cuando un condensador se une a una fuente que produce una diferencia de potencial constante, como una batería, los electrones se almacenan en la placa unida al polo negativo y se alejan de la placa unida al polo positivo. Este proceso, conocido como *carga*, tiene lugar en un tiempo variable, que depende del condensador y de la resistencia interna de la fuente, pudiendo llegar a ser inferior a la millonésima de segundo. Los electrones no pueden saltar de una placa a la otra porque el dieléctrico que está entre ellas se lo impide.

Puesto que las cargas de las dos armaduras son de signo opuesto, los electrones que se encuentran en una de ellas están atraídos por la carga positiva de la otra. Si hubiera un contacto entre las placas, los electrones cruzarían de una a otra. Sin embargo, debido a la existencia del dieléctrico, los electrones permanecen, retenidos por la carga positiva de la placa que no pueden alcanzar. De esta forma la carga persiste en las placas si se desconecta la batería. Si después se conectan los terminales de las placas a una carga, como por ejemplo una lámpara, los electrones encuentran un camino para llegar a la otra placa, por lo que recorren el circuito hasta que la carga en las dos placas se iguala. La "capacidad" de los condensadores es una característica que indica la relación entre la carga que puede almacenar el condensador y la tensión que tiene aplicada en sus terminales. Cuando un condensador almacena una carga de 1 culombio al tener aplicada una tensión de 1 voltio, se dirá que posee una capacidad de 1 *faradio*, que es la unidad de capacidad.

Tipos de condensadores Igual que los resistores, los condensadores pueden ser *fijos* o *variables*. Los condensadores fijos se clasifican según el tipo de material usado como dieléctrico. Se utilizan dieléctricos de papel, plástico o mica, que se encierran entre dos finas hojas de papel de aluminio o de estaño. Los condensadores cerámicos se fabrican depositando sobre las dos caras de un dieléctrico de cerámica una fina película de un compuesto de plata. Estos condensadores se pueden hacer muy pequeños y a pesar de ello poseer una capacidad muy elevada, por lo que se utilizan en las naves espaciales, donde el tamaño y la eficiencia tienen una importancia vital. Si el dieléctrico se crea por reacción química, que tiene lugar al aplicar una diferencia de potencial, se dice que el condensador es *electrolítico*.

A la derecha, una caja de resistencias de precisión y, debajo, una resistencia ajustable de potencia. El mejor método para medir el valor de una resistencia no es la medida directa, sino la comparación con otra resistencia patrón. Por este motivo la caja múltiple tiene mucha utilidad si los valores indicados en los distintos mandos tienen la precisión necesaria. →

→ La resistencia ajustable de potencia con devanado toroidal tiene la ventaja de disipar bien el calor producido por corrientes fuertes.

La capacidad de los condensadores se indica con un código de colores o con un número impreso directamente en el condensador.

Los condensadores variables están formados por un grupo de placas paralelas fijas y otro de placas móviles, que se pueden introducir entre las fijas sin tocarlas. Cuando se gira un mando, las placas móviles entran o salen en las fijas, haciendo que el condensador que forman los dos grupos de placas tenga más o menos superficie. Como la capacidad está relacionada con la superficie, se puede variar la capacidad del conjunto. Los condensadores variables se utilizan mucho en los sintonizadores de radio para seleccionar las distintas emisoras. Las placas de estos condensadores pueden estar separadas por aire o por láminas de mica o polietileno. Un condensador variable unido a una bobina, o bien una bobina ajustable

con un condensador fijo, se pueden utilizar para sintonizar una frecuencia determinada de las muchas que recibe la antena. Esta es una de las muchas formas en que se utilizan los condensadores en los aparatos de radio y televisión.

Resistencias El componente que se utiliza en los circuitos para controlar la cantidad de corriente eléctrica se llama resistencia.

Las resistencias, que se encuentran prácticamente en todos los circuitos electrónicos, tienen la propiedad de producir calor cuando pasa corriente por ellas. Dispositivos como el filamento de las bombillas, o el elemento que calienta un tostador de pan, aprovechan esta propiedad. Sin embargo, los componentes electrónicos llamados resistencias tienen en la mayor parte de las ocasiones la finalidad de controlar la corriente, y el calor que producen es un efecto secundario no deseado.

Las resistencias se basan en que los distintos materiales permiten que los electrones los atraviesen con distinta facilidad; cambiando las dimensiones —grosor y longitud— y el material utilizado, se pueden conseguir valores muy distintos de resistencia para todas las aplicaciones. La colocación de una resistencia en un circuito se puede comparar a la instalación de un tubo de diámetro reducido en un sistema de tuberías para regular la cantidad de agua que pasa.

La resistencia es el componente electrónico más simple. Está formado por un material de resistencia conocida cubierto con una capa aislante. Del interior de dicha capa salen dos hilos que pemiten conectar la resistencia al circuito. Las resistencias, que también pueden tener un valor fijo o variable, se clasifican por los distintos tipos de materiales utilizados en su construcción. El material determina la temperatura a la que pueden funcionar, la potencia máxima que van a poder disipar y las dimensiones que van a tener.

Tipos de resistencias Las resistencias de carbón son las más comunes y las más económicas. El valor de la resistencia depende del diámetro, de la densidad y de la longitud del trozo de carbón que está debajo de la cubierta. Las resistencias de película metálica están formadas por un soporte cerámico en el que se ha depositado una fina capa de aleación metálica. Sus valores son más precisos que los de las resistencias de carbón, y les afectan menos las variaciones de humedad y temperatura.

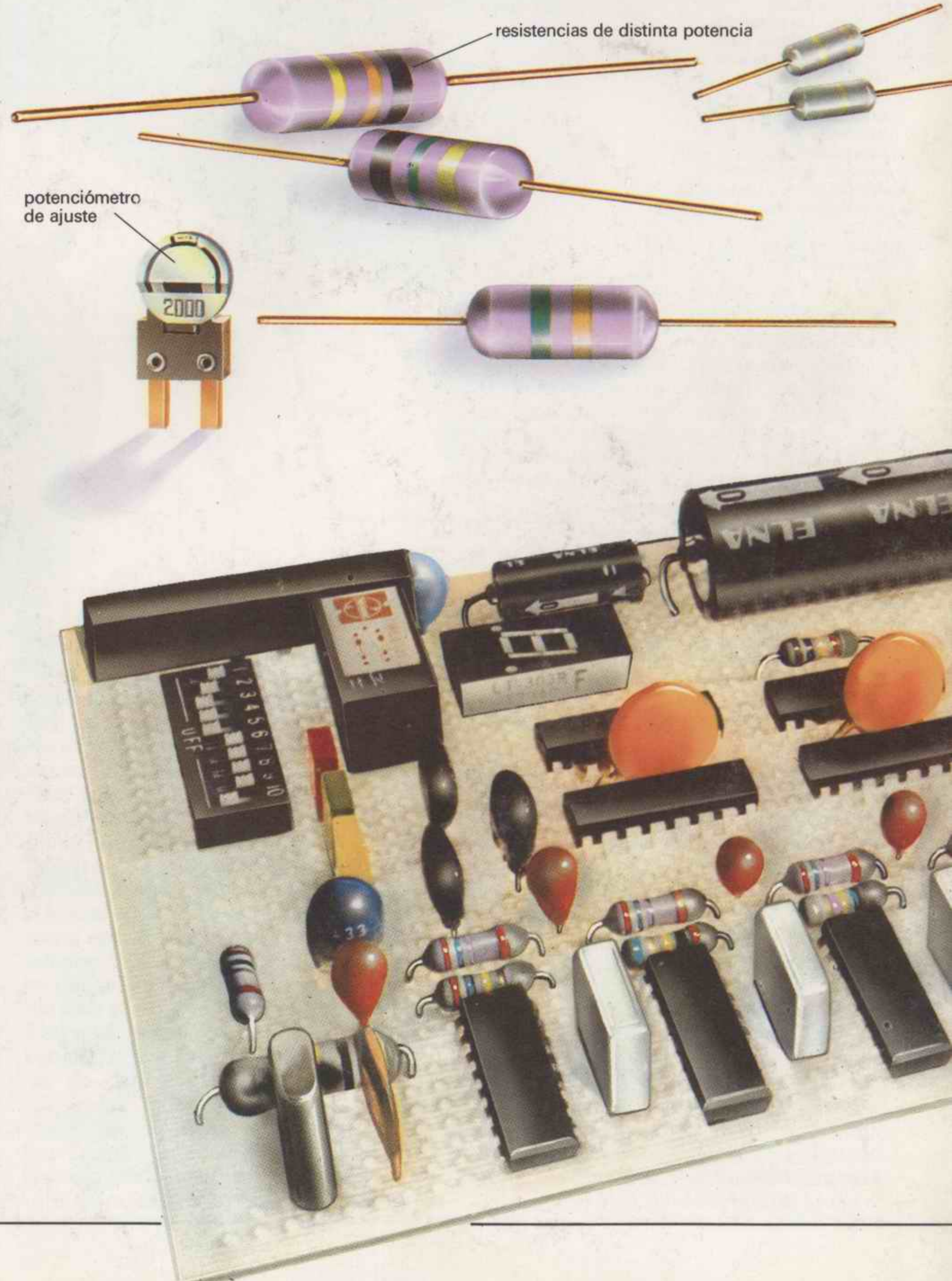
Las resistencias bobinadas, que tienen como elemento resistivo un hilo de la resistencia oportuna, son muy precisas y se pueden hacer de un tamaño muy reducido. Las resistencias de potencia son un tipo de resistencia bobinada proyectada para fuertes cargas. Todos los tipos mencionados anteriormente son *resistencias fijas*. Su valor está indicado normalmente por bandas de colores que rodean el cuerpo, con lo que se pueden identificar fácilmente. El valor de la resistencia se puede obtener interpretando las bandas de colores con una tabla que se encuentra en la mayor parte de los manuales.

Debido a que es muy difícil fabricar resistencias que tengan un valor óhmico exacto, los fabricantes indican al margen, el valor nominal aproximado en el que puede encontrarse un componente determinado; esta característica se llama *tolerancia*. La tolerancia puede variar desde el 0,01% al 20% y su valor está indicado también por una banda de color. Las resistencias que tienen tolerancia pequeña se llaman resistencias de precisión.

Las *resistencias ajustables* se utilizan en los casos en los que se necesitan cambios en la resistencia de un circuito sólo ocasionalmente o cuando el ajuste definitivo se tiene que realizar en el circuito ya montado. Un terminal eléctrico se puede deslizar a lo largo del cuerpo conductor de la resistencia, de forma que la corriente atraviese un trozo del elemento más o menos largo. Una vez obtenida la resistencia deseada, se deja fijo dicho terminal.

Las *resistencias variables* se utilizan cuando se necesita cambiar a menudo su valor óhmico. Cuando la resistencia variable se utiliza para regular la diferencia de potencial en un circuito, se denomina *potenciómetro*. Un uso muy conocido de los potenciómetros es el control de volumen en los equipos de música. Cuando se utiliza una resistencia variable para regular la cantidad de corriente, se llama *reostato*. Los reostatos se utilizan como reguladores variables de la corriente que circula, por ejemplo, a través del filamento de una bombilla, controlando así la cantidad de iluminación emitida.

Véase **Circuito eléctrico; Circuito electrónico**

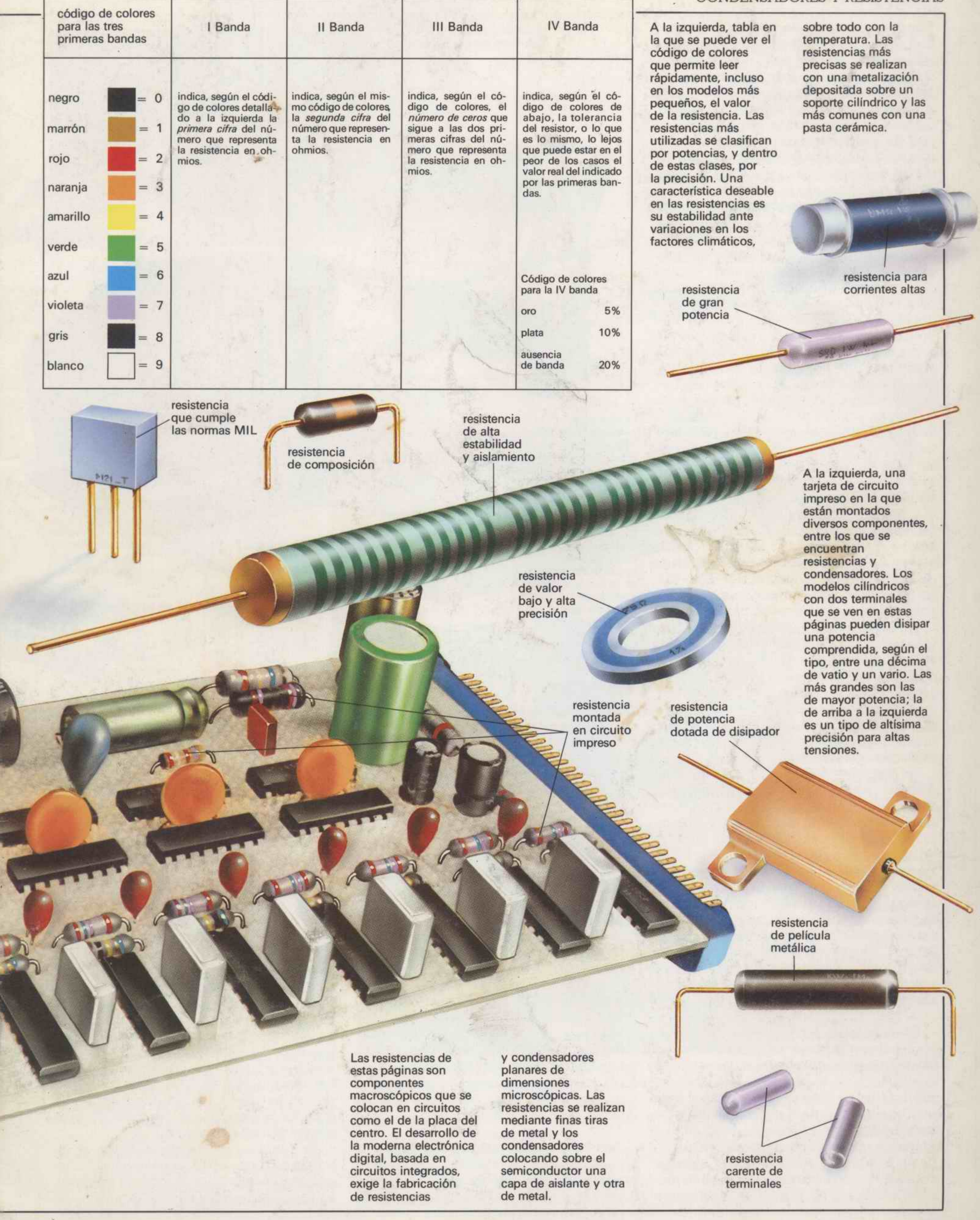


código de colores para las tres primeras bandas	I Banda	II Banda	III Banda	IV Banda
negro = 0	indica, según el código de colores detallado a la izquierda la *primera cifra* del número que representa la resistencia en ohmios.	indica, según el mismo código de colores, la *segunda cifra* del número que representa la resistencia en ohmios.	indica, según el código de colores, el *número de ceros* que sigue a las dos primeras cifras del número que representa la resistencia en ohmios.	indica, según el código de colores de abajo, la tolerancia del resistor, o lo que es lo mismo, lo lejos que puede estar en el peor de los casos el valor real del indicado por las primeras bandas.
marrón = 1				
rojo = 2				
naranja = 3				
amarillo = 4				
verde = 5				
azul = 6				
violeta = 7				
gris = 8				
blanco = 9				

Código de colores para la IV banda

oro	5%
plata	10%
ausencia de banda	20%

A la izquierda, tabla en la que se puede ver el código de colores que permite leer rápidamente, incluso en los modelos más pequeños, el valor de la resistencia. Las resistencias más utilizadas se clasifican por potencias, y dentro de estas clases, por la precisión. Una característica deseable en las resistencias es su estabilidad ante variaciones en los factores climáticos, sobre todo con la temperatura. Las resistencias más precisas se realizan con una metalización depositada sobre un soporte cilíndrico y las más comunes con una pasta cerámica.



A la izquierda, una tarjeta de circuito impreso en la que están montados diversos componentes, entre los que se encuentran resistencias y condensadores. Los modelos cilíndricos con dos terminales que se ven en estas páginas pueden disipar una potencia comprendida, según el tipo, entre una décima de vatio y un vario. Las más grandes son las de mayor potencia; la de arriba a la izquierda es un tipo de altísima precisión para altas tensiones.

Las resistencias de estas páginas son componentes macroscópicos que se colocan en circuitos como el de la placa del centro. El desarrollo de la moderna electrónica digital, basada en circuitos integrados, exige la fabricación de resistencias y condensadores planares de dimensiones microscópicas. Las resistencias se realizan mediante finas tiras de metal y los condensadores colocando sobre el semiconductor una capa de aislante y otra de metal.

Confección textil

Durante el curso de la historia, el desarrollo de la industria del vestido, ya sea en la producción textil o en la confección de la ropa, ha sido un buen reflejo del progreso tecnológico en general. De la misma manera que las máquinas automáticas de la revolución industrial del siglo XIX proporcionaron vestidos confeccionados a muchas más personas que antes, así, la revolución electrónica del siglo XX ha transformado la industria, introduciendo maquinaria de precisión y alta velocidad en los procesos de corte y confección. La historia de las medias de mujer constituye un buen ejemplo del progreso en la industria del vestido.

La primera máquina de hacer malla para fabricar medias la inventó a finales del siglo XVI, en Inglaterra, el reverendo W. Lee, que vio cómo la reina Isabel I le rechazó la patente porque sus medias eran más bastas que las de seda fina, importadas de España. Poco después Lee construyó un modelo mejor que producía medias más finas, pero también esta vez le rechazaron la patente porque la reina temía que esto dejase sin trabajo a los que las hacían a mano. Lee murió en la pobreza algunos años después en Francia, pero su hermano volvió a Inglaterra y fundó una industria basada en dicha máquina. De hecho, los principios de la máquina de Lee se siguen aplicando en las modernas máquinas de hacer malla. Con la llegada de la revolución industrial del siglo XIX, se introdujeron las primeras medias sin costura fabricadas en máquinas circulares.

De todas formas, hubo que esperar hasta los años cuarenta de nuestro siglo para encontrar la manera de que las medias se adaptasen perfectamente a la forma de la pierna. Esto se consiguió utilizando medias de nailon (inventado en 1935), a las que se podía dar la forma necesaria mediante un proceso de moldeado en caliente llamado *preboarding*.

Un parisino llamado Barthélemy Thimonnier patentó la primera máquina de coser en 1830 y produjo ochenta para fabricar uniformes militares, máquinas que fueron destruidas por un grupo de sastres que temían que las máquinas de coser les quitasen el trabajo. Elias Howe, estadounidense, dio un paso adelante respecto a la máquina de hilo único de Thimonnier al patentar en 1846 una máquina de coser con canilla, que utilizaba dos hilos, obteniendo así una mayor resistencia. Isaac N. Singer, de Pittstown (Nueva York), fue el hombre que, en 1851, popularizó la máquina de coser con un modelo accionado a pedal.

La economía en la producción de la ropa se basa en la posibilidad de obtener un elevado grado de automatización en el corte y cosido del tejido. Pero además de por estas operaciones, se puede obtener una gran economía realizando una correcta distribución en la operación de cortado de las piezas de tejido que se van a utilizar, de forma tal que la cantidad de tejido desperdiciado sea en todo caso mínima.

El montaje de los vestidos Antes de confeccionar un traje, es necesario cortar las mangas, el delantero, la espalda, el cuello, etc., de la pieza de tela. Durante mucho tiempo esto se hizo a mano, pero llegó un momento en que resultaba muy caro. La solución se halló en 1860, año en el que se inventó una máquina con cuchilla en banda que permitía cortar distintas capas de tejido a la vez (y por lo tanto muchos vestidos); de esa forma fue posible proceder a la confección de vestidos a escala relativamente grande, pues si bien al principio la calidad en la elaboración no fue muy alta, el coste disminuyó.

El corte de la tela dio otro gran paso adelante más de cien años después, en 1971, con la llegada del corte con láser regulado por ordenador, que quema o vaporiza el tejido. Esta técnica es muy precisa. El ensamblaje de los vestidos, que inicialmente se hacía a mano, y más tarde en una cadena de montaje en la que cada trabajador manejaba solamente un tipo de pieza, ha experimentado un gran avance gracias a la introducción de máquinas de coser programadas que controlan la secuencia de la colocación, del cosido y de la recolocación (si fuera necesaria) de las piezas, además del rematado de los hilos, el deshilvanado y la distribución. La fusión de los tejidos (para los bordes sin costuras y para la fijación de las entretelas) ya no se lleva a cabo sólo por aplicación directa de calor, sino también mediante el uso de sistemas electrónicos de alta frecuencia o de rayos infrarrojos.

Los tejidos sintéticos Los tejidos sintéticos, o tejidos fabricados por el hombre, aparecieron por primera vez a finales del siglo XIX, cuando en Francia el conde Hilaire de Chardonnet produjo una fibra, que llamó "seda artificial", mediante la extrusión de una solución de nitrocelulosa a través de unos pequeñísimos agujeros y posterior endurecimiento con aire caliente, convirtiéndola así de nuevo en celulosa (que es la base de las fibras naturales). Este tejido, producido comercialmente por primera vez en 1891, fue conocido más tarde con el nombre de rayón.

Las dos guerras mundiales provocaron un enorme progreso en el desarrollo de las fibras sintéticas. Cuando Henry y Camille Dreyfus, cuyas fábricas en Gran Bretaña y Estados Unidos producían una solución de acetato de celulosa utilizada como barniz para las alas de tela de los aviones de la primera guerra mundial, se dieron cuenta de que una vez finalizada la guerra ya no habría más demanda de su producto, empezaron a fabricar "acetese", una especie de tela, todavía usada y conocida como acetato. En cambio, el nailon fue introducido en 1935 y se hizo muy pronto popular en la producción de medias de mujer, dada la carencia de seda natural durante la guerra.

En los años cincuenta se fundaron fábricas de fibras acrílicas en muchas naciones, y se crearon los tejidos de poliéster. La ropa inarrugable se hizo popular rápi-

plicadas. Además, la elasticidad o rigidez de los tejidos presenta después el problema del cosido de cada pieza, de forma tal que se le pueda dar al producto final el necesario amoldado al cuerpo.

Otros problemas, como que el corte y la yuxtaposición de las piezas sobre el tejido reduzcan los retales para que el producto sea más económico, se pueden resolver fácilmente mediante un proceso de automatización con la ayuda de ordenadores. La operación de cortado, llevada a cabo inicialmente con cuchillas especiales, hoy puede efectuarse, como ya se ha dicho, utilizando el calor del haz de un lá-



Uno de los problemas que, aunque conceptualmente simple, más tiempo tardan en resolver los ordenadores, es el de la yuxtaposición de las piezas, que han de cortarse según formas más o menos complejas, de manera que los retales sobrantes sean mínimos. De hecho, la solución sólo se puede hallar probando todas las combinaciones posibles para la colocación de las piezas una al lado de la otra. Probar todas las formas posibles de colocar veinte piezas adyacentes, exige 2×10^{18} pruebas. ¡A mil por segundo, harían falta alrededor de setenta millones de años!

damente; este tipo de tejido recibe un "tratamiento" o "cocción" en un ambiente previamente calentado, para fijar pliegues o formas anteriormente planchadas y para dar una mayor resistencia a los fruncidos.

El problema de la confección La confección de un traje representa un complejo problema industrial. Más aún, aparentemente, la confección podría parecer un problema no reconducible a una técnica repetitiva y automatizable, pues cada traje tiene que adaptarse a la forma del cuerpo de quien tendrá que usarlo. Sin embargo, casi un siglo de esfuerzos ha transformado una actividad artesanal en una verdadera actividad industrial, sin que haya resultado dañada la elegancia ni el aspecto del producto terminado.

El primer problema que se plantea en la confección industrial de la ropa es la estandarización de las tallas. Para asegurar el que un individuo vista un traje con elegancia, es necesario que las medidas sean lo más ajustadas posibles a su talla, para lo que el primer paso es disponer de una estadística de las medidas de los individuos, divididos en categorías: niños, jóvenes y adultos; hombres y mujeres. Por otra parte, ya sea a causa de la evolución de las costumbres alimentarias, con los consiguientes cambios corporales, como por la mayor fusión entre personas de raza y pueblos distintos, las tallas evolucionan rápidamente y las estadísticas tienen que ser renovadas continuamente.

Tanto los modelos como los tejidos, suscitan serios problemas en el cortado de la ropa, pues, incluso las prendas más sencillas, resultan siempre bastante com-

La industria de la confección se caracteriza por el hecho de que absorbe numerosa mano de obra, razón por la cual se sigue con gran interés cualquier innovación que automatice los procesos de producción. De todas maneras, la ropa confeccionada en serie tiene una gran cantidad de formas que, aún desarrolladas en plano, presentan una multitud de patrones con contornos complejos, de los que sólo una parte se pueden enlazar mediante uniones planas. Por lo tanto, el desarrollo de nuevas formas y la creación de nuevos estilos puede ser tan importante como la invención de nuevos mecanismos automáticos. Es lo que se denomina "inversión en intangibles".

ser guiado por ordenador. En cambio, el cosido presenta mayores dificultades, y ni siquiera los más versátiles robots actuales pueden resolverlas completamente. Por esta razón se intenta usar tejidos autoadhesivos y tejidos que pueden unirse por acción del frío o del calor.

Véase **Tejidos, fabricación de; Telar**

Conjuntos, teoría de

En Matemáticas —como en otras ciencias y en la propia vida cotidiana— es usual agrupar símbolos, fenómenos u objetos reales o abstractos, *a*, *b*, *c*,..., que tienen alguna propiedad o característica común; se habla entonces del *conjunto* C de los *a*, *b*, *c*,..., de los que, a su vez, se dice que son *elementos* de C. Dichas expresiones se representan simbólicamente con las notaciones

$$C = \{a, b, c, ...\} \qquad a \in C$$

que se leen, respectivamente, "C es el conjunto formado por *a*, *b*, *c*...." y "*a* pertenece a C".

Un conjunto puede darse, como se acaba de hacer, por *extensión*; es decir, enumerando la lista de sus elementos. Puede también quedar definido por *comprensión*, o sea, dando la condición necesaria y suficiente para que un elemento cualquiera le pertenezca. Se escribe entonces:

$$C = \{x \mid p(x)\}$$

que se lee: "C es el conjunto de los *x* tales que cumplen *p*(*x*)". Por ejemplo, si se tratara del conjunto de los números pares se escribiría:

$$P = \{x \mid x = \dot{2}\}$$

la relación existente entre un elemento y el conjunto del que es miembro se denomina de *pertenencia* (y se representa con el símbolo $\in$). Cuando dos conjuntos A y B están formados por los mismos elementos se dice que son iguales y se escribe A=B; en caso contrario, que son desiguales, denotándolo por $A \neq B$. Cuando A y B no sólo son desiguales sino que no tienen ningún elemento común se les llama *disjuntos*. Por otra parte se dice que un conjunto A está contenido en otro B, o que es parte o subconjunto de él, si todo elemento de A lo es de B. La relación entre A y B se denomina de *inclusión* y se denota del siguiente modo:

$$A \subset B$$

Es evidente que esta relación tiene la propiedad de ser *reflexiva*; es decir, para todo conjunto A se cumple que $A \subset A$. Precisamente se dice que A es *parte propia* de B si $A \subset B$ y además $A \neq B$.

La inclusión y la igualdad están relacionadas de una forma simple: si A y B son iguales resulta trivial que $A \subset B$ y que $B \subset A$. Recíprocamente: si se tiene simultáneamente que $A \subset B$ y $B \subset A$ es que ambos conjuntos están formados por los mismos elementos. Esta propiedad de la inclusión, denominada *antisimétrica*, puede enunciarse diciendo que "la condición necesaria y suficiente para que A=B es que $A \subset B$ y $B \subset A$".

Por otra parte es evidente que la inclusión goza de la propiedad transitiva, es decir que si $A \subset B$ y $B \subset C$ también se tiene $A \subset C$.

Las relaciones que son reflexivas, antisimétricas y transitivas —como la inclusión de conjuntos, la divisibilidad de números naturales o la ordenación usual de los números reales— se denominan de *orden*, y los conjuntos en los que están definidas, *ordenados*. Por ello puede decirse que, para los conjuntos, la inclusión resulta una relación de orden.

Volviendo a las relaciones de pertenencia e inclusión, es muy importante distinguirlas. Los ejemplos que siguen muestran la diferencia:

$$a \in \{a, b, c\} \qquad b \in \{a, b, c\}$$
$$\{a\} \subset \{a, b, c\} \qquad \{a, b\} \subset \{a, b, c\}$$

Como se acaba de ver, en el tercero de los anteriores ejemplos, pueden considerarse conjuntos formados por un elemento único; son los llamados *átomos* o *conjuntos unitarios*. Una convención fundamental en Teoría de conjuntos es la de distinguir entre *a* y $\{a\}$, aceptando que: $a \in \{a\}$ y que $a \neq \{a\}$.

Para seguir precisando más la noción intuitiva de conjunto vamos a señalar algunos casos particulares. En primer lugar, se conviene en considerar como conjunto al llamado *vacío*, denotado por $\varnothing$, que se caracteriza por no tener ningún elemento. Podría también definírsele atribuyendo a sus elementos una propiedad contradictoria cualquiera. Evidentemente, se tiene que para todo elemento *x* y todo conjunto A:

$$x \notin \varnothing \qquad \varnothing \subset A$$

Se llama *universal* (o, más precisamente, *universal del discurso*), y suele denotarse, entre otras formas, con la letra I, al conjunto al que pertenecen todos los elementos de que se trata en un cierto problema o teoría. Por supuesto, podría definírsele por una propiedad tal que fuese cumplida por todos los elementos en cuestión. Naturalmente, se tiene que para todo elemento *x* y todo conjunto A de los que trata el discurso

$$x \in I \qquad A \subset I$$

Conviene observar que sólo hay un $\varnothing$ (o, lo que es lo mismo, todos los *vacíos* son iguales), pero que hay un *universal* para cada caso. Por ejemplo, el *universal* de los números enteros será $\mathbb{Z}$ y el de los reales $\mathbb{R}$. Es más, como se insistirá más adelante, un *universal* absoluto no existe, ya que, como puede probarse, el "conjunto de todos los conjuntos posibles" o "el conjunto de todas las cosas" son conceptos contradictorios.

Cuando se tiene un conjunto se pueden considerar sus diferentes partes o subconjuntos, y puede también definirse un nuevo conjunto formado por todos ellos, denotado $\mathscr{P}(C)$ y llamado "conjunto de las partes de C" (a veces, también, "potencia de C"). Sea, por ejemplo, C= $\{1, 2\}$; entonces, sus partes son:

$$\varnothing, \{1\}, \{2\} \text{ y } \{1, 2\}$$

y el conjunto $\mathscr{P}(C)$ será:

$$\mathscr{P}(C)=\{\varnothing, \{1\}, \{2\}, \{1, 2\}\}$$

Si un conjunto tiene *n* elementos $\mathscr{P}(C)$ tiene 2^n, como se demuestra recurriendo



Georg Cantor (1845-1918) nació en San Petersburgo (hoy Leningrado), pero vivió en Alemania desde 1856, formándose matemáticamente en Berlín (1863-69) bajo la dirección de Weierstrass y siendo profesor en Halle a partir de 1869. Sus primeras publicaciones sobre la Teoría de conjuntos datan de 1870. Sus ideas, entonces revolucionarias y hoy la base de la matemática, fueron fuertemente controvertidas por matemáticos notables (por ejemplo Kronecker y Schwarz) aunque fueron apoyadas por Weierstrass y, más tarde, por Hilbert, hasta imponerse a fines de siglo. Tales controversias influyeron en su salud y le produjeron ciertos trastornos mentales, aunque, según se cuenta, a la salida de sus ataques, su creatividad científica estaba en su punto más alto. Toda la teoría ingenua de conjuntos, la teoría del continuo, la de cardinales, etcétera, son obra de Cantor. Sin ellas la matemática actual tendría una fisonomía muy diferente.

a un argumento combinatorio. En efecto: hay un solo subconjunto vacío, $\binom{n}{0}=1$; $\binom{n}{1}=n$ átomos; $\binom{n}{i}$ subconjuntos de *i* elementos, y, por último, un solo subconjunto coincidente con C. Es decir:

$$\binom{n}{0}+\binom{n}{1}+...+\binom{n}{i}+...+\binom{n}{n}=(1+1)^n=2^n$$

Adelantando acontecimientos, puede enunciarse el anterior resultado diciendo que "si un conjunto tiene el *cardinal n*, su conjunto potencia tiene el *cardinal* 2^n". Es más, se extiende el anterior resultado, formalmente, al caso de conjuntos no finitos, e, incluso, se utiliza la notación simbólica 2^A para $\mathscr{P}(A)$.

Si A es uno de los subconjuntos de B, se llama *complementario* de A respecto a B, y se escribe A'_B, al subconjunto de B formado por los elementos de B que no pertenecen a A. Obviamente, A y A'_B son disjuntos y entre los dos contienen a todos los elementos de B. Cuando el conjunto B es el universal, se omite la referencia al mismo y se dice, simplemente, *complementario de A* y se escribe A'; en tal caso se tiene la propiedad llamada de *involución*: (A')' = A

Algebra de conjuntos Entre conjuntos pueden definirse distintas operaciones. Las más sencillas son las de *unión* e *intersección*. Se llama *unión* de A y B, y se escribe $A \cup B$, al conjunto formado por todos los elementos de A y de B; es decir $x \in A \cup B$ si x pertenece a cualquiera de ambos conjuntos A o B (o a los dos simultáneamente).

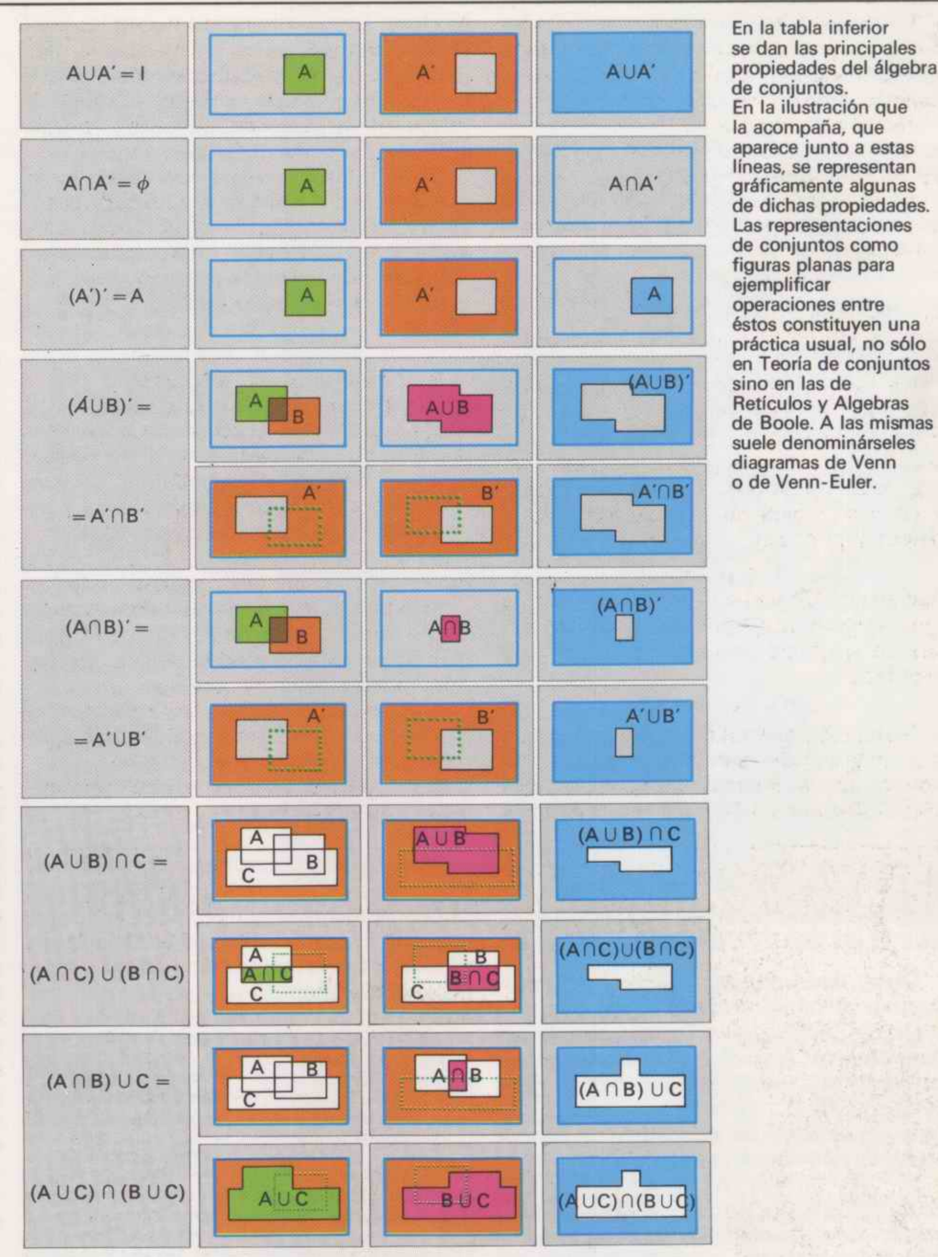
Se llama *intersección* de A y B, y se escribe $A \cap B$, al conjunto formado por los elementos comunes de A y B; es decir, $x \in A \cap B$ si x pertenece a A y a B simultáneamente. Naturalmente, cuando A y B son disjuntos, $A \cap B = \varnothing$ (ésta es una de las razones que aconsejan considerar el vacío como conjunto).

Es fácil probar que la unión e intersección son operaciones idempotentes, conmutativas y asociativas y que gozan, cada una respecto a la otra, de las propiedades de absorción y distributividad.

Si se trabaja con una familia de conjuntos tal que se pueda asegurar que si A y B están en ella también lo estén $A \cup B$ y $A \cap B$, dicha familia constituirá lo que se llama en Algebra un *retículo* (conjunto con dos operaciones internas idempotentes, conmutativas, asociativas y con la propiedad de absorción de cada una respecto a la otra). En particular, se tratará de un *retículo distributivo*. El caso más evidente de una familia con tales propiedades es el de las partes de un conjunto $\mathscr{P}(C)$, o $\mathscr{P}(I)$ tomando C = I como universal. Es más, como en $\mathscr{P}(I)$ se tiene que para todo $A \in \mathscr{P}(I)$ —o lo que es lo mismo, $A \subset I$— existe también el complementario A' con las propiedades:

$$A \cup A' = I \qquad A \cap A' = \varnothing$$

se tratará de lo que se llama un *retículo complementario*.



En la tabla inferior se dan las principales propiedades del álgebra de conjuntos. En la ilustración que la acompaña, que aparece junto a estas líneas, se representan gráficamente algunas de dichas propiedades. Las representaciones de conjuntos como figuras planas para ejemplificar operaciones entre éstos constituyen una práctica usual, no sólo en Teoría de conjuntos sino en las de Retículos y Algebras de Boole. A las mismas suele denominárseles diagramas de Venn o de Venn-Euler.

PROPIEDADES BASICAS

Propiedad	Unión	Intersección
conmutatividad	$A \cup B = B \cup A$	$A \cap B = B \cap A$
asociatividad	$(A \cup B) \cup C = A \cup (B \cup C)$	$(A \cap B) \cap C = A \cap (B \cap C)$
idempotencia	$A \cup A = A$	$A \cap A = A$
absorción	$(A \cap B) \cup A = A$	$(A \cup B) \cap A = A$
distributividad	$(A \cap B) \cup C = (A \cup C) \cap (B \cup C)$	$(A \cup B) \cap C = (A \cap C) \cup (B \cap C)$
caracterización de $\varnothing$	$\varnothing \cup A = A$	$\varnothing \cap A = \varnothing$
caracterización de I	$I \cup A = I$	$I \cap A = A$
caracterización del complementario	$A \cup A' = I$	$A \cap A' = \varnothing$

OTRAS PROPIEDADES

(A')' = A (involución)

$(A \cup B)' = A' \cap B'$ $\quad (A \cap B)' = A' \cup B'$ (leyes de Morgan)

Si por último, se advierte que ∅ e I están, obviamente, en $\mathscr{P}$(I) y cumplen para cualquier A que

$\varnothing \cup A = A$, $\varnothing \cap A = \varnothing$
$I \cup A = I$, $I \cap A = A$

se reconocerá que $\mathscr{P}$(I) es lo que se llama un *Algebra de Boole*.

En el álgebra $\mathscr{P}$(I) se cumplen, como es lógico, las propiedades generales de las álgebras de Boole; por ejemplo, las llamadas *leyes de Morgan*.

$$(A \cup B)' = A' \cap B'$$
$$(A \cap B)' = A' \cup B'$$

que relacionan la unión, intersección y complementación. (En la tabla adjunta puede examinarse una lista de propiedades junto con sus interpretaciones gráficas).

Existe una conexión evidente pero interesante entre la relación de inclusión y las operaciones de unión e intersección; viene dada por la llamada, a veces, ley de *conformidad*, que expresa la equivalencia de las tres siguientes condiciones:

1) $A \subset B$; 2) $A \cap B = A$; 3) $A \cup B = B$

Por último conviene recordar que, como en todas las álgebras de Boole, se cumple en $\mathscr{P}$(I) la ley de *dualidad* que permite obtener una expresión verdadera a partir de otra cambiando, entre sí, los signos de unión e intersección y cada conjunto por su complementario (en particular ∅ por I y recíprocamente). Lo dicho es válido para igualdades; si se trata de una expresión que incluye el signo de inclusión hay, además, que invertir el orden de los dos miembros de la inclusión.

Otras operaciones Entre conjuntos pueden definirse, además de las anteriores, otras operaciones. La más simple es la *diferencia*. Sean A y B dos conjuntos (siempre se pueden suponer como subconjuntos de un cierto I); entonces, A - B es el conjunto de los elementos de A que no están en B. Evidentemente,

$$A - B = A - (A \cap B) = A \cap B'$$

En el caso particular de que $B \subset A$ resulta que A - B es, simplemente, el complementario de B respecto de A. En el caso de que A sea el universal I, entonces la diferencia coincide con el complementario de B.

Se llama *diferencia simétrica* (en algunos textos, *suma*) de dos conjuntos A y B al conjunto formado por los elementos que pertenecen a A o a B pero no a ambos. Se denota por $A \Delta B$. Se tiene que:

$$A \Delta B = (A-B) \cup (B-A) = (A \cup B) - (A \cap B) =$$
$$= (A \cup B) \cap (A \cap B)' = (A \cup B) \cap (A' \cup B') =$$
$$= (A \cap B') \cup (A' \cap B)$$

Cuando A y B son disjuntos, la diferencia simétrica coincide con la unión.

Se prueba fácilmente que $A \Delta B$ es conmutativa, asociativa y cumple

$$A \Delta \varnothing = A$$
$$A \Delta A = \varnothing$$

Además puede probarse que es distributiva respecto a la intersección. Ello permite considerar a $\mathscr{P}$(I), además de como álgebra de Boole, como anillo *booleano*, es decir, como un conjunto dotado de dos operaciones —en este caso la diferencia simétrica y la intersección—, con las propiedades de todos los anillos más la particular de que el producto sea idempotente (y las que de ella se deducen, como la coincidencia de cada elemento con su opuesto).

Otra operación —ésta no interna— con conjuntos es el llamado *producto cartesiano*. Dados A y B, se llama *producto cartesiano* (o, simplemente *producto*) al conjunto cuyos elementos son las parejas ordenadas que pueden formarse tomando como primer elemento uno de A y como segundo uno de B. Por ejemplo: sean $A = \{1, 2, 3\}$ $B = \{a, b\}$; entonces:

$A \times B = \{(1, a), (1, b), (2, a), (2, b), (3, a), (3, b)\}$

Evidentemente; si A y B tienen *m* y *n* elementos respectivamente, A×B tiene *m×n*. La operación no es conmutativa (ya que los pares se consideran ordenados) y se considera asociativa al convenir que:

$$(A \times B) \times C = A \times (B \times C) = A \times B \times C,$$

definiendo A×B×C como conjunto de las ternas ordenadas formadas al tomar un elemento de A, otro de B y otro de C (en ese orden). Análogamente, se define $A_1 \times A_2 \times ... \times A_n$.

El producto cartesiano es fundamental para establecer rigurosamente los conceptos de relación y aplicación (o función) y, por ello, aparece en múltiples capítulos de la Matemática.

Equipotencia y cardinal Si A y B son dos conjuntos tales que entre ambos puede establecerse una biyección —es decir una correspondencia biunívoca que no deja ningún elemento en ninguno de los conjuntos sin homólogo— se dice que son *equipotentes* (o que tienen la misma *potencia* o el mismo *cardinal*).

La *equipotencia* de conjuntos tiene las tres propiedades características de las relaciones de equivalencia, como las tiene la igualdad. Estas son la de ser reflexiva (todo conjunto es equipotente consigo mismo), simétrica (si A es equipotente de B, también lo es B de A) y transitiva (si son equipotentes por una parte A y B y por otra B y C, también lo son A y C). De hecho, en múltiples cuestiones conjuntistas la equipotencia funciona como una especie de igualdad generalizada. En cualquier caso, el concepto permite asociar a cada conjunto A lo que se llama su *cardinal* —denotado como *card*(A)— y que puede definirse diciendo que "dos conjuntos tienen el mismo cardinal si y sólo si son equipotentes". También cabe, simplemente, considerar que el *cardinal* de A no es otra cosa que la clase de todos los conjuntos equipotentes a A. Se ve inmediatamente que para un conjunto finito —que puede definirse directamente como aquél para el que no es posible establecer una biyección entre él y cualquiera de sus partes propias— el concepto de cardinal se reduce al de número de elementos del conjunto.

Cantor probó (en 1890) el siguiente teorema sobre los cardinales de un conjunto y el de sus partes:

$$\text{card}(A) < \text{card}\,\mathscr{P}(A)$$

que resulta evidente para cualquier conjunto finito pero que también es válido para el caso de conjuntos infinitos.

Precisamente la cuestión del infinito es la más importante de las que trata de aclarar la Teoría de conjuntos. Una definición directa es la siguiente: "Un conjunto es infinito si es posible establecer una biyección entre él y una de sus partes propias". El caso más elemental e inmediato se encuentra en el conjunto de los números naturales, ya que se puede establecer una biyección entre él y el conjunto de los números pares (evidentemente una de sus partes) —por ejemplo con la siguiente ley: $f(n) = 2n$ para todo n natural—. Los conjuntos que son equipotentes de $\mathbb{N}$ se llaman *numerables*; Cantor probó que entre ellos se encontraban conjuntos que, a primera vista, parecen mucho más "numerosos", como el de los racionales $\mathbb{Q}$. Por el contrario, demostró que el conjunto de los reales $\mathbb{R}$ o, más sencillamente, uno de sus equipotentes (aunque parezca mentira), el intervalo [0, 1], tienen la potencia de $\mathscr{P}(\mathbb{N})$, que suele denominarse la del *continuo*.

Como ya se ha apuntado, una de las aplicaciones del concepto de cardinal es la de permitir fundamentar el de número natural por el método llamado de Cantor-Frege, que identifica número natural con cardinal de conjunto finito. Sin embargo, conviene apuntar que ésta no es la única posibilidad que se tiene. Dejando a un lado la axiomática de Peano, y sin salirse de la propia Teoría de conjuntos, puede también fundarse el número natural caracterizando adecuadamente una clase particular de conjuntos ordenados o, lo que viene a ser equivalente, utilizando otro concepto de Cantor: el de *ordinal*. (Sobre ellos podrá el lector encontrar oportuna información en los artículos que se dan como referencia).

De la teoría ingenua a la axiomática Durante el siglo XIX se van sentando las bases filosóficas y matemáticas que preparan la aparición de la Teoría de conjuntos. Por ejemplo, todo el movimiento de aritmetización del Análisis, las interesantes aportaciones del filósofo matemático Bolzano sobre la cuestión del infinito o las influencias de la formalización de la lógica van preparando el terreno. Es, sin embargo, Cantor el indiscutible creador de la Teoría de conjuntos. Suya, de 1895, es la conocida definición ("por conjunto se entiende el agrupamiento en un todo de objetos bien definidos de nuestra intuición o de nuestro pensamiento"). En 1873 había empezado a ocuparse del concepto de equipotencia; entre 1878 y 1884 siguió con dicha cuestión, con la de los conjuntos totalmente ordenados, la topología de $\mathbb{R}$ y otras cuestiones conexas; hacia 1880 trabaja en los cardinales y aborda el problema del continuo. Las resistencias de Kronecker, Schwarz y otros importantes matemáticos a la teoría cantoriana son feroces; Cantor sólo recibe en principio el apoyo de Weierstrass (que había sido su

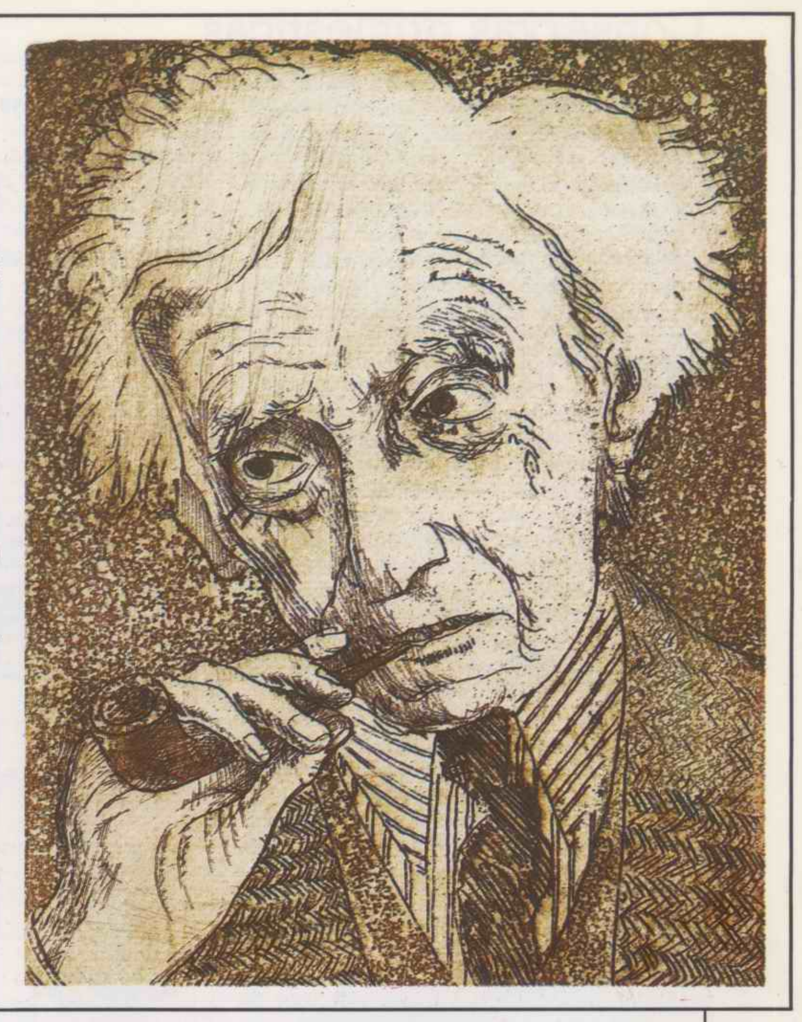
maestro). Al final va imponiéndose la nueva teoría, que se consagra en el I Congreso Internacional (Zurich, 1897), gracias al apoyo de importantes matemáticos y, sobre todo, al fundamental del gran Hilbert ("nadie nos arrojará del paraíso que Cantor ha creado para nosotros").

Por desgracia, o por suerte, surge la crisis al ir apareciendo las famosas paradojas de la Teoría de Conjuntos. Basada ésta en la intuición primitiva (o "ingenua") de lo que es un conjunto, se presta a la aparición de conceptos contradictorios. En 1897 Burali-Forti señala que no puede admitirse como conjunto "el de todos los números ordinales". El propio Cantor, hacia 1899, señala que no pueden existir ni "el conjunto de todos los cardinales" ni el "conjunto de todos los conjuntos" (éste último sería elemento de sí mismo y, además contradiría el hecho de que un conjunto no puede tener el mismo cardinal que el conjunto de sus partes). En 1905 Russell señala también que "el conjunto de los conjuntos que no son elementos de sí mismos" también es contradictorio. Richard (1905) y, simplificando sus argumentos, Russell y Whitehead (1910) ponen de manifiesto un tipo diferente de paradoja: la llamada ahora "de Richard". Se trata de la siguiente: es contradictorio considerar "el conjunto de los números que en un cierto idioma —en la versión original el francés— pueden expresarse con un número determinado de palabras (16 en la primitiva formulación)".

La aparición de estas paradojas creó una situación crítica en la Teoría de conjuntos y, por consiguiente, en la cuestión de la fundamentación de la Matemática a la que el logicismo de Russell, el intuicionismo de Brouwer y el formalismo de Hilbert aportaron criterios de solución. No cabe decir que las dificultades se hayan solventado ni que los problemas estén cerrados (seguramente no lo estarán nunca) a pesar de los esfuerzos aplicados a ello.

El procedimiento adoptado para solventar una salida —al menos el más generalmente aceptado y, por otra parte, consecuente con la organización axiomática de la Matemática actual y con la filosofía formalista que la justifica— fue el de dar una versión axiomática de la Teoría de conjuntos en sustitución de la primera versión ingenua o cantoriana. Se trata, en concreto, de dar una lista de axiomas que formalicen los conceptos básicos —igualdad, existencia de pares, de la unión o del conjunto de las partes— o que acepten ciertas hipótesis básicas, como la existencia de conjuntos infinitos. Históricamente, la primera formulación se debe a Zermelo (1908), posteriormente retocada por Fraenkel. El polifacético von Neumann da en 1925 una aproximación distinta, de la que se han hecho después versiones diferentes (por ejemplo por autores como Bernays o Gödel).

Vease **Algebra de Boole; Continuo matemático; Infinito matemático; Lógica matemática; Números; Relación, correspondencia y aplicación; Relación de equivalencia; Relación de orden**



Bertrand Russell (1872-1970) es una de las personalidades inglesas y universales —fue premio Nobel de Literatura en 1952— más ricas y polifacéticas de nuestro tiempo. Aristócrata nada victoriano, militante del pacifismo y el feminismo, laborista fabiano, etcétera, merece, sin embargo especial atención por su labor filosófica —fundamentalmente lógica— y matemática. Autor con Whitehead, de los *Principia Mathematica* (1910-13) y de otros muchos libros, como *The Principles of Mathematics* (1903), es el mayor exponente de la escuela logicista de fundamentación de la matemática y superación de las paradojas planteadas en la teoría de conjuntos cantoriana, algunas descubiertas por él mismo. En cierta ocasión definió la matemática como "la disciplina en la que no se sabe de qué se está hablando ni si lo que se dice es verdad".

En un artículo famoso aparecido en 1948 en el libro colectivo dirigido por Le Lionnais *Les grands courants de la pensée mathématique,* el gran Nicolas Bourbaki aseguraba que la matemática moderna se construye sobre las estructuras de orden, algebraicas y topológicas que, a su vez, descansan sobre los conjuntos. El tal Bourbaki llevaba ya desde 1939 escribiendo unos monumentales *Eléments de Mathématique,* aún inacabados, aunque ya suman varias docenas de fascículos (reeditados en forma de gruesos volúmenes encuadernados), que pretenden ser la expresión de dicho punto de vista y presentar un panorama total de la matemática. Lo más divertido del asunto es que Bourbaki no existe. Es un colectivo de matemáticos franceses (con alguna excepción) fundado en los años 30 por Cartan, Chevalley, Delsarte, Dieudonné y Weil, que se renueva por cooptación; son más de una veintena, sólo votan en sus reuniones los menores de cincuenta años, y trabajan en Francia y Estados Unidos. *Scientific American* los veía como reproduce la ilustración en el número de mayo de 1957.



Conservas domésticas

En 1810, el pastelero parisino Nicolas Appert inventó el primer método eficaz para la conservación de alimentos, colocándolos en tarros que posteriormente sumergía en agua hirviendo. Aunque él nunca había oído hablar de la ciencia bacteriológica, que realmente no comenzó a desarrollarse hasta cincuenta años después, sabemos que Appert tenía razón cuando intuía que la combinación de envases herméticos y de calor retrasaba el deterioro de los alimentos. De hecho, si se calienta el contenido de un tarro, se eliminan los organismos responsables del deterioro de los alimentos, mientras que el cierre hermético impide que la comida se contamine de nuevo al estar expuesta a los microorganismos del aire. El primer envase prácticamente utilizable para conservar alimentos fue inventado en 1858 por John L. Mason. Conocido como *tarro de Mason*, es un objeto todavía familiar en las despensas de quien ama los productos frescos del huerto de los que prepara conservas.

Existen dos métodos fundamentales para la preparación doméstica de conservas alimenticias, en función de la mayor o menor acidez de los alimentos a conservar.

El elevado contenido en ácido de algunos alimentos, como la fruta o las verduras en vinagre, tiende a impedir el desarrollo de bacterias y, por tanto, estos alimentos solamente requieren un tratamiento en agua hirviendo. Se pone el producto en un tarro dotado de una tapadera de cristal con una guarnición de goma y un

METODOS CASEROS DE CONSERVACION ALIMENTICIA

MEDIOS QUIMICOS

sal	sustracción de agua (alcaparras, anchoas, etc.)
vinagre	junto con el calor y la sal inhibe los microorganismos
aceite	impide el contacto con el oxígeno y por tanto los procesos oxidantes (aceitunas y hortalizas en aceite)
azúcar	sustracción de agua (frutas varias)
alcoholes varios	función bacteriostática y protectora del oxígeno (frutas al licor)

MEDIOS FISICO-QUIMICOS

humo	sustracción de agua, bactericida, antioxidante (carne y pescado ahumados)

MEDIOS FISICOS

frío	bloqueo de la actividad enzimática mediante congelación del agua contenida en el alimento (carne, pescado, etc.)
calor esterilización tindalización	muerte térmica de microorganismos y esporas (salsas de tomate, etc.)
desecado por exposición al aire	sustracción de agua (frutos secos)

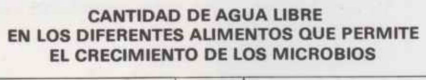
Abajo, las principales causas de la alteración de los alimentos. Arriba, esterilización para destruir los microorganismos que deterioran los alimentos. Los tarros dotados de tapadera y guarnición de goma se hacen hervir al baño María. Cuando se enfrían, el vapor interior se condensa, creando un vacío parcial que garantiza la perfecta adherencia de la tapadera.

ELIMINACION DE MICROORGANISMOS Y ESPORAS MEDIANTE EL HERVIDO		
Microorganismos y esporas	**Tiempo de muerte térmica (TDT) en minutos**	**Temperatura en °C**
Salmonella typhosa	4	60
Mycobacterium pyogenes aureus	18	60
Escherichia coli	20-30	57
Streptococcus thermophilus	15	70-75
Lactobacillus bulgaricus	30	71
Bacillus anthracis	1-7	100
Bacillus subtilis	15-20	100
Clostridium botulinum	100-300	100
Clostridium calidotolerans	520	100

cierre a presión que se deja abierto. A continuación se introduce el tarro en una olla con agua y se deja hervir al baño María durante media hora; después se pone a enfriar. A lo largo de esta operación es importante que la temperatura del agua esté siempre alrededor de los 100 °C. Al calentarse, el contenido del tarro se dilata y se produce vapor que obliga al aire a salir del recipiente. Cuando el contenido del tarro ya cerrado se contrae durante el enfriamiento y el vapor se condensa, se forma dentro un vacío, que se mantiene con la ayuda de la goma que rodea la tapadera. Al final de esta operación se coloca el tarro en un lugar fresco, seco y oscuro, para impedir una disminución del hermetismo que proporciona la goma y una alteración de las vitaminas y del color de los alimentos a causa de la luz.

El bajo contenido en ácidos de alimentos como zumos, patatas y hortalizas no es capaz de inhibir el aumento bacteriológico para poderse conservar en buenas condiciones, por lo que los alimentos han de someterse a una temperatura mayor. Esto se consigue con recipientes a presión, que utilizan el mismo principio de las ollas a presión. Los tarros se colocan en el recipiente a presión lleno de agua. Cuando el agua se calienta, la tapa hermética del recipiente impide que el vapor escape, llegando así rápidamente a la presión de un kilogramo por centímetro cuadrado mientras que la temperatura sube hasta 115 °C.

Si los tarros no se calientan lo necesario y el hermetismo no es suficiente, las bacterias, los mohos y las levaduras pueden deteriorar o producir una fermentación del alimento. El mayor peligro lo constituyen las esporas de *Clostridium botulinum*, que causan el botulismo, una



CANTIDAD DE AGUA LIBRE EN LOS DIFERENTES ALIMENTOS QUE PERMITE EL CRECIMIENTO DE LOS MICROBIOS		
Microorganismos	**Agua libre**	**Alimentos**
	1,0	verduras y fruta fresca
Clostridium botulinum		carnes, pollo, pescado, leche, huevos
Salmonella		carnes conservadas (jamón, mortadela)
la mayoría de las bacterias	0,9	
levaduras		embutidos, quesos, siropes
Estafilococos		harina, arroz, cereales, judías, dulces
mohos	0,8	
bacterias alófilas		IMF (alimentos de humedad intermedia)
		alimentos salados
	0,7	mermeladas
		avena
		frutos secos, caramelos
microorganismos osmófilos	0,6	
		alimentos desecados

gravísima intoxicación alimentaria. Estas esporas, que son completamente inocuas para los organismos vegetales en un ambiente aeróbico, en ambiente anaeróbico, es decir, carente de oxígeno, como el de un tarro de conservas cerrado, se reproducen formando gases y toxinas venenosas, cuya presencia a menudo no puede ser detectada ni por la vista, ni por el olfato, ni por el sabor. Entre los síntomas del botulismo figuran la visión doble, la incapacidad de deglutir, la dificultad en el habla y la parálisis progresiva de los músculos de la respiración. La intoxicación resulta fatal a menos que se suministre un antídoto. Para evitar la intoxicación de los alimentos con bajo contenido en ácidos que se quieran poner en conserva por métodos domésticos, tienen que ser hervidos durante quince minutos para destruir de este modo las toxinas.

El seguimiento de las instrucciones sobre la puesta en conserva de los alimentos, que contienen a menudo advertencias precisas referidas a estos peligros potenciales, y la correcta observancia de las normas a seguir garantizan una conservación segura y eficaz de los alimentos.

Véase **Alimentos, aditivos y conservantes**

Al añadir azúcar o alcohol etílico, o ambos a la vez, se obtiene un eficaz sistema para conservar la fruta. El azúcar o el alcohol, mediante un mecanismo de ósmosis, penetran en el cuerpo del fruto, expeliendo una parte del agua. La sustracción del agua obstaculiza el desarrollo de microorganismos que alteran los productos vegetales.

Constelaciones

Las constelaciones son figuras imaginarias que se pueden ver en el cielo y cuyos puntos principales están señalados por estrellas visibles a simple vista. Para orientarse en el cielo, el hombre se ha ido fijando en la disposición de las estrellas, al tiempo que ha imaginado que dibujan figuras humanas, de animales o cosas. Hoy el término constelación se refiere no sólo a la figura imaginaria (Osa Mayor, Hércules, Auriga, etc.) sino a toda región del cielo en la que la constelación es la figura principal; de esta forma los astrónomos han dividido la esfera celeste en regiones que permiten suministrar una localización aproximada de los cuerpos celestes. Por ejemplo en lugar de decir que Aldebarán se encuentra a tantos grados, minutos y segundos de latitud y longitud celeste, los científicos pueden identificar esta importante estrella como *Alpha Tauri* que es una abreviación astronómica para decir que se trata de la estrella más brillante de la constelación del Toro, del mismo modo en que se podría identificar Boston como la ciudad más grande de Nueva Inglaterra, en lugar de indicarla como la ciudad localizada a 42° N y 71° O.

En la antigüedad los griegos y romanos comenzaron a atribuir a las constelaciones nombres de personajes mitológicos, como Perseo, Andrómeda, Hércules, Orión, etc; nombres de animales, como *Ursa Major*, la Osa Mayor, o *Canes Venatici*, los Perros de Caza; o de objetos familiares de uso doméstico o agrícola como *Antlia*, *Bootes*, *Caelum*, *Carina* y así sucesivamente. En el siglo II d. de C. el gran astrónomo griego-egipcio Tolomeo recopiló una lista de 48 constelaciones y la publicó en un famoso libro titulado *Almagesto*. Desde los tiempos de Tolomeo un elevado número de constelaciones ha sido añadido a la lista inicial, comprendidas las visibles en el hemisferio austral; actualmente los astrónomos reconocen 88 constelaciones, cada una de las cuales sirve como piedra miliar celeste para cada sección del firmamento. En algunos casos una antigua constelación como la Nº 48 de Tolomeo, *Argo Navis*, la Nave, ha sido subdividida en porciones más pequeñas que representan partes de la nave: *Carina*, el casco, *Vela*, la vela, y así sucesivamente. Las líneas limítrofes entre una constelación y otra han sido cuidadosamente trazadas y dadas a conocer mediante un acuerdo internacional entre los astrónomos. Las tablas de estas constelaciones llevan el nombre de la constelación en latín, la forma genitiva (posesivo) de cada nombre latino, una abreviatura de tres letras y las coordenadas para localizar las constelaciones en el cielo.

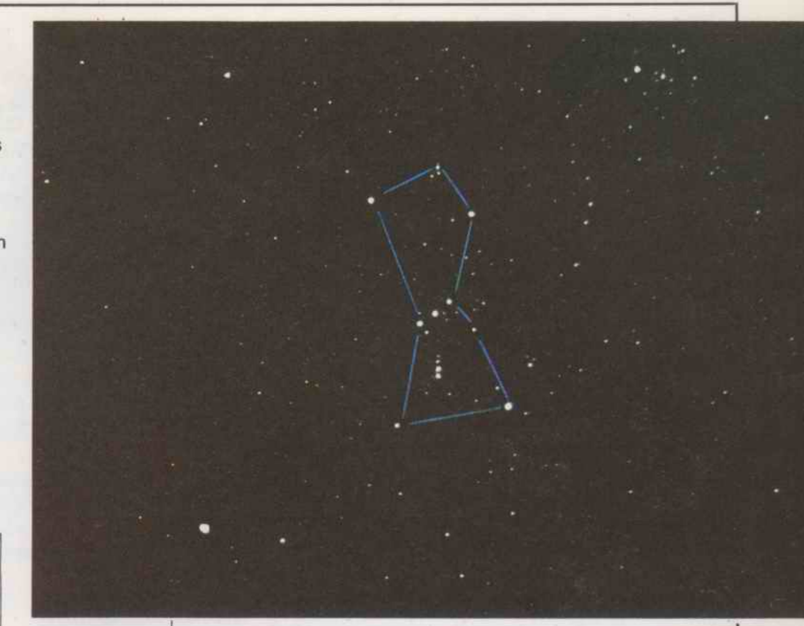
Las doce constelaciones que aparecen en la eclíptica o cerca de ella (el camino recorrido en el cielo por el movimiento aparente del Sol durante un año) son conocidas como "Constelaciones del Zodiaco" que es la zona situada a 9° a cada lado de la eclíptica. Estas constelaciones se han hecho famosas ya que constituyen la base de esa pseudociencia que es la astrología; son concretamente *Aries*, el Carnero; *Taurus*, el Toro; *Gemini*, los Gemelos; *Cáncer*, el Cangrejo; *Leo*, el León; *Virgo*, la Virgen; *Libra*, la Balanza; *Scorpius*, el Escorpión; *Sagittarius*, el Sagitario; *Capricornus*, el Capricornio; *Acuarius*, Acuario; *Piscis*, los Peces; probablemente la astrología fallaría, en lugar de representar una rentable actividad, si cada uno se diese cuenta de que las constelaciones son simplemente grupos de estrellas no relacionadas entre sí, que forman una figura característica cuando son proyectadas a distancias que pueden alcanzar miles de años luz (para obtener la distancia real en kilómetros debe multiplicarse el año luz por 9 billones) sobre la superficie imaginaria de la igualmente imaginaria esfera celeste.

Además de las constelaciones del zodiaco las otras 76 están divididas en dos grupos: constelaciones septentrionales (28) y constelaciones australes (48), según que sean visibles en el hemisferio septentrional o austral. Entre los grupos de estrellas fácilmente reconocibles el más conocido es probablemente el Gran Carro, conocidísimo grupo de siete estrellas, de las cuales las dos más brillantes han servido durante muchos siglos a marinos y a otros viajeros como indicadores de la Estrella Polar. Hay que recordar que el Gran Carro no es una constelación, sino sólo un grupo de estrellas que forman parte de la constelación *Ursa Major*, la Osa Mayor compuesta por un centenar de estrellas. Las dos estrellas que muestran la Polar



Las figuras de abajo ilustran cuál ha sido la evolución del concepto de constelación en el tiempo. En la antigüedad era un dibujo formado en el cielo por estrellas, que se pensaba si estaban realmente cerca unas de las otras tal y como se aprecian a simple vista. Se creía que fuesen lucecitas →

sujetas en el interior de la esfera celeste. Además el dibujo de la constelación tenía un nombre al cual se le atribuía mucha importancia. De esta manera se dibujaba de modo que la figura tuviese una importancia mayor incluso que la posición misma de las estrellas Efectivamente en el dibujo tomado de un antiguo atlas celeste, de la constelación de Orión, la figura del mítico gigante cazador prevalece sobre la disposición de las estrellas que casi no se ven. No es aconsejable utilizar este mapa para localizar las estrellas en el Cielo. Abajo en esta página, se ve como se dibuja hoy el mapa de una constelación. Es como una mapa geográfico en el cual las coordenadas terrestres son sustituidas por las celestes. En el eje horizontal se tiene la Ascensión Recta, en el vertical la Declinación aparente. Se encuentran las acostumbradas dificultades para representar una superficie esférica en un plano: generalmente se representan las áreas cercanas al ecuador celeste con una proyección cilíndrica y las cercanas a los polos con proyecciones cónicas. Los límites de la constelación, que son ficticios, están actualmente codificados por la Unión Astronómica Internacional y no se pueden alterar. A la derecha, se ve la fotografía, realizada con un pequeño instrumento astronómico, de la constelación de Orión y las circunvecinas.



ORION

Betelgeuse

Gran nebulosa

Rigel

Magnitudes

0 1 2 3 4 5 6 estrella variable cúmulo estelar

son además las dos estrellas más brillantes en *Ursa Major* y consecuentemente son llamadas *Alpha Ursae Majoris* y *Beta Ursae Majoris* por los astrónomos. Este es un ejemplo de la forma en que son llamadas las principales estrellas de una constelación desde la más brillante hasta las menos brillantes en orden decreciente de luminosidad, anteponiendo las letras del alfabeto griego (alfa, beta, gamma, delta, etc.). Este sistema, inventado por un astrónomo aficionado alemán, Johannes Bayer, a principios del siglo XVII antepone las letras griegas a la forma genitiva del nombre latino de la constelación. Por lo tanto, partiendo de la estrella situada en la extremidad externa, la lanza del Gran Carro, encontramos *Eta ursae Majoris*, *Zeta Ursae Majoris*, *Epsilon Ursae Majoris* después las cuatro estrellas del carro, *Delta*, y *Gamma Ursae Majoris*, a la izquierda y, como antes decíamos *Alpha* y *Beta Ursae Majoris* a la derecha, desde arriba.

Si se quiere además conocer los nombres de las restantes estrellas de la Osa Mayor se pueden consultar mapas de las estrellas y constelaciones que pueden hallarse en cualquier libro de astronomía. Si se lee que la estrella más cercana al Sol (4,3 años luz, una distancia equivalente a 40 billones de kilómetros) es *Alpha Centauri*, ello quiere decir que se trata de la estrella más brillante en la constelación *Centaurus*, el Centauro. *Beta Centauri*, la segunda estrella de la constelación en orden de luminosidad situada un poco por debajo y a la izquierda de *Alpha Centauri*, se encuentra a una distancia de 490 años luz (4.500 billones de kilómetros) y entre las dos se encuentran cientos de estrellas. Estos datos deberían claramente demostrar que las constelaciones son simplemente como puntos de referencia para orientarse en el universo utilizando unos prismáticos o un telescopio.

Véase **Astronomía; Cartografía celeste; Cometa**

Construcción, materiales de

Desde las campanas de barro y paja de las casas rurales a los modernos edificios de cristal y acero, los hombres han construido estructuras empleando todo tipo de material disponible en la cantidad necesaria y a un precio razonable, sopesando las cualidades particulares de cada uno de ellos respecto a las prestaciones que les son requeridas. Entre las características más importantes están el peso, la resistencia, la dureza, la aptitud para su uso, el valor del coeficiente de aislamiento térmico, el color y otras características estéticas, la disponibilidad, la facilidad de transporte y el coste. Inevitablemente, los proyectos de construcción y las características de los materiales se influyen recíprocamente. La poderosa estabilidad y la imponente solidez de una catedral nunca podrían ser comparadas con la ligera construcción de ejes segmentados y unidos de un etéreo templo japonés.

Rascacielos Durante el período de la Revolución Industrial, la introducción del hierro fundido para la fabricación de máquinas y para la instalación de líneas de ferrocarril se extendió a la construcción de edificios y cambió todas las concepciones. La resistencia de este material hacía posible construir estructuras altas y relativamente ligeras. La era de los rascacielos, sin embargo, no comenzó hasta que se pudo disponer de cantidades elevadas de acero y la ingeniería pudo desarrollar construcciones de puentes con un armazón, utilizando la resistencia de las estructuras reticuladas.

La carga de un rascacielos (peso del edificio en su conjunto y de todo lo que éste contiene) descansa principalmente sobre un núcleo central que contiene también los ascensores, las escaleras y los sistemas de ventilación. Los muros externos, por lo tanto, no son portantes. Después de 1950, de hecho, estas paredes externas han sido construidas sobre todo de cristal, de paneles de plástico o de metales ligeros, como el aluminio.



En la parte superior, esquema de elaboración de la arcilla para producir ladrillos. La arcilla es amasada y trabajada hasta formar los bloques, que después de una breve desecación se cuecen en horno continuo. En la foto, como comparación, un horno antiguo junto a pilas de ladrillos secados al sol en Irán.

Dos tipos de mármol con dibujos apreciables: en la parte superior, mármol para interiores de Ceccarelli, Milán; debajo, mármol Skhyros tallado y pulido. Estas planchas perfectas son cortadas por expertos. Abajo, mármol en bruto de Candoglia, Novara.

Una construcción típica En la mayor parte de los edificios se utiliza aún una considerable cantidad de madera, usada como soporte o como material de acabado. Los soportes más resistentes son los construidos en acero y en hormigón; especialmente este último se utiliza reforzado por barras y cables de acero o de hierro. Los muros externos pueden ser revestidos de madera o de metal, de ladrillos o de enlucido (arena mezclada con cemento y agua), de piedra o de cristal. En la parte interna de los muros externos y debajo de los tejados se monta generalmente un revestimiento aislante de fibra de vidrio, de plástico o de fibras inorgánicas, sostenido por una sutil lámina de metal.

Para los muros internos el sistema más usual en España es un tabique o tabicón (pared de ladrillos huecos recibidos con yeso o mortero de cemento) tendido de yeso por sus dos caras. Pueden sustituir a estos elementos paneles prefabricados a base de madera y yeso o de otros materiales. Estos paneles están constituidos de pasta de yeso encerrada entre dos hojas de cartón y tienen una superficie alrededor de 2 a 3 metros cuadrados. Los muros están después revestidos con madera, plástico, metal u otros materiales según los casos.

La mayor parte de los acabados de tejados son de madera aglomerada y papel alquitranado, con las juntas y los ángulos protegidos por láminas de metal denominadas *caballones*. El tejado está recubierto de grava (si es plano), tejas, pizarra o listones de madera y/o alquitrán. Otros tipos de acabado emplean metal, plástico y vidrio.

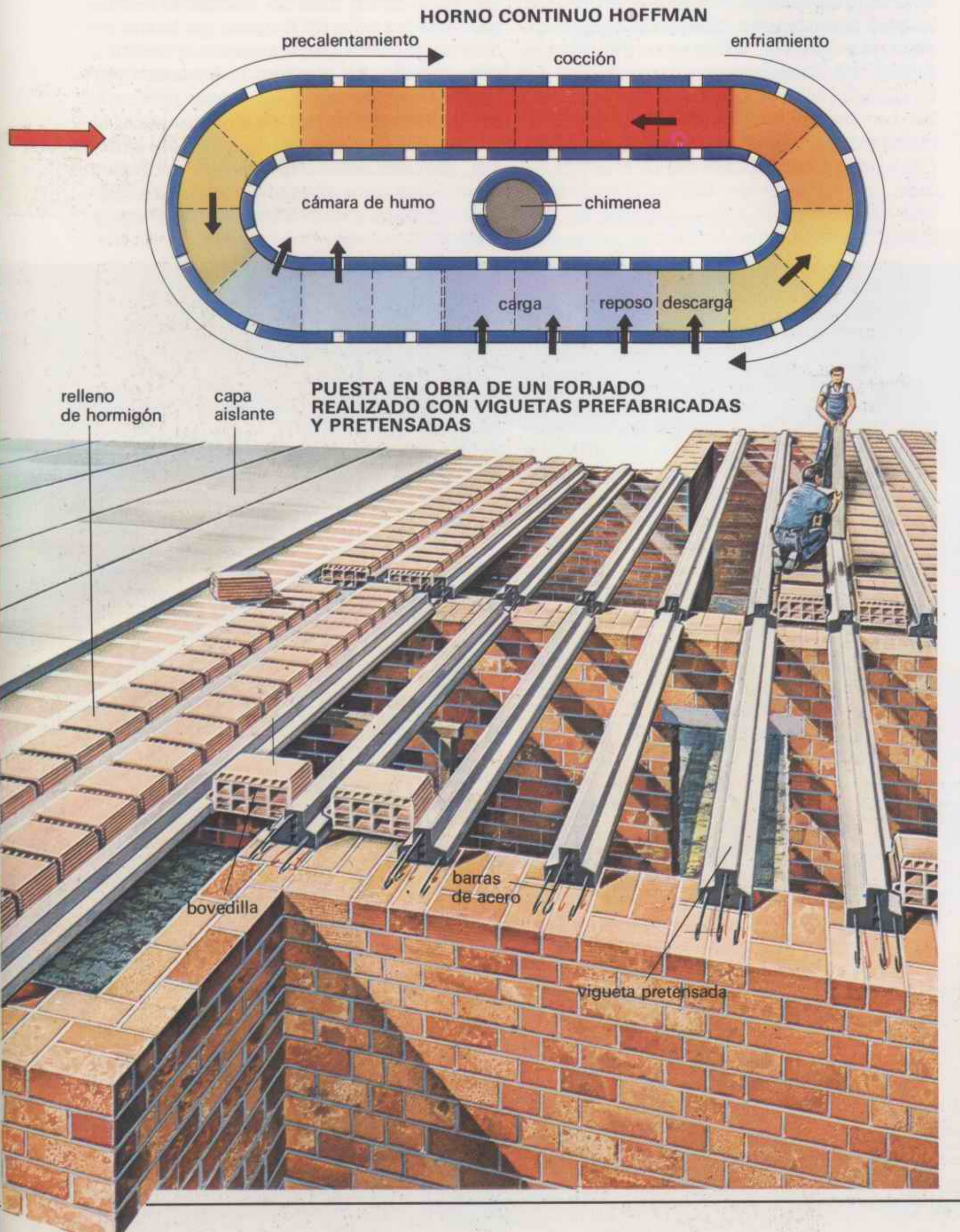
El solado de los interiores es más elástico —y por lo tanto mejor para las piernas del que camina por encima de éste— si es de madera, pero en los grandes edificios son más comunes los solados de hormigón. Los materiales empleados para el acabado de solados van desde la pizarra al mármol, del mosaico de Palladio (constituido por trozos de mármol hundidos en cemento) al caucho, a las resinas vinílicas, a las baldosas de cerámica y al linoleum (que está constituido por aceite de semillas de lino y serrín de madera prensado sobre un soporte de tela). También los medios de fijación de estos materiales son de diversos tipos (escarpias, tornillos, gatos, etcétera).

Las materias plásticas encuentran hoy un empleo muy difundido para la construcción de tuberías de agua, para las bañeras y para las instalaciones de la ducha, para la cobertura de los hilos eléctricos, para las baldosas de los suelos, de los aislantes y los adhesivos para madera laminada. También muchos barnices y revestimientos de suelos (incluidos los poliuretanos) son la base de elementos que contienen polímeros sintéticos cuya toxicidad constituye un grave riesgo cuando por cualquier causa se produce un incendio.

Grados de seguridad Recientemente el amianto, que era muy utilizado tanto en forma de paneles como para revestimientos a chorro por sus cualidades de aislante térmico y acústico, ha sido acusado de ser un agente cancerígeno y causa de otras enfermedades y ha debido, por lo tanto, ser abandonado, al menos para edificios de carácter público.

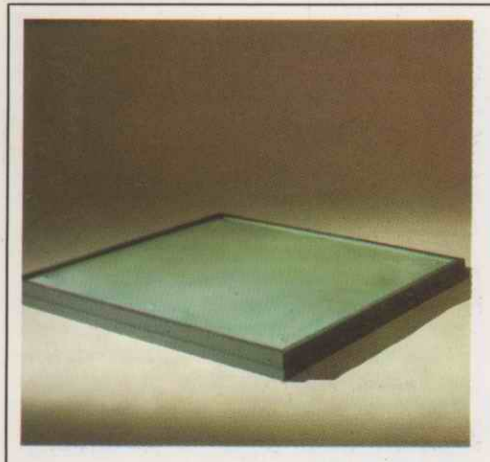
Estudios completos sobre los efectos de la contaminación atmosférica en los materiales de construcción han demostrado que muchos de éstos sufren un rápido deterioro cuando son expuestos a los humos de los automóviles y a los productos resultantes de la combustión del carbono.

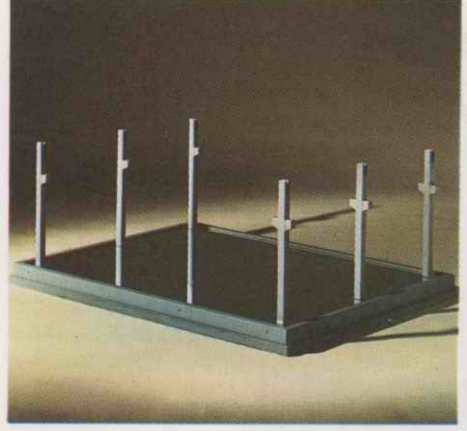
Véase **Aislantes térmicos; Asbesto; Cemento; Edificios, construcción de; Hormigón**



La construcción de edificios tiene la ventaja del empleo de materiales prefabricados de grandes dimensiones y también pequeños, como planchas de mármol para recubrimiento o ladrillos, que son de gran utilidad. A menudo, además de una ventaja desde el punto de vista de la rapidez de construcción, ofrecen otra también desde el punto de vista estético. El más común entre los elementos prefabricados pequeños es el ladrillo: desde el común ladrillo macizo a piezas muy elaboradas y complejas. En la página de al lado, en la parte inferior, varios ejemplos de manufacturados de cerámica para construcción: tejas, ladrillos huecos y una chimenea. También las planchas de mármol de dibujo constituyen valiosos elementos manufacturados. En esta página, ejemplo de construcción con amplio uso de manufacturados de cerámica para construcción y elementos prefabricados. Las paredes son de ladrillos macizos, el aligeramiento de forjados se hace con bovedillas, las vigas son de hormigón pretensado, fáciles de poner en obra.

Construcción, prefabricados







Después de la II Guerra Mundial, la industria de la construcción se encontró frente al problema de la escasez de mano de obra, en particular de personal especializado, y de la necesidad de reducir los costos y de disminuir los períodos de construcción. En Europa se produjo un gran aumento de la demanda de viviendas tras las destrucciones bélicas, lo que creó la necesidad de desarrollar sistemas de edificación basados en un proyecto sistemático de elementos prefabricados producidos a gran escala. Estos elementos, después de fabricados, eran parcialmente montados en fábrica y transportados por ferrocarril o por medio de camiones al lugar de construcción.

Las técnicas de prefabricación se desarrollaron según el nivel de industrialización y las exigencias específicas de las diversas naciones. El requerimiento de construir casas a un coste bajo y en períodos breves hizo que se registrasen notables progresos en Europa y en la Unión Soviética. Muchos gobiernos de diversas naciones apoyaron el desarrollo de programas para la construcción de viviendas humildes y para la investigación en el campo de la industria de la construcción. La economía soviética, tan duramente tratada durante el período bélico, dedicó gran parte de sus esfuerzos a la prefabricación de elementos para la edificación y favoreció la creación de nuevas ciudades en Siberia. En Japón, las viviendas prefabricadas reemplazaron a los edificios tradicionales de los suburbios superpoblados. En Estados Unidos la edificación de tipo prefabricado ha sido menos popular, aunque a menudo se utilicen elementos prefabricados, sobre todo de hormigón. Por ejemplo, en la construcción de aparcamientos públicos de varios pisos se utilizan vigas y forjados de hormigón prefabricados.

Principios para proyectar Los elementos prefabricados se proyectan normalmente de manera que puedan adaptarse a un plano de construcción modular en el que todos los elementos del edificio sean congruentes con una serie uniforme de dimensiones o con múltiplos de esta serie. Estos componentes estándar se pueden combinar según diversos esquemas sin temor de obtener resultados erróneos. Todo esto hace que se ahorre tiempo en el proyecto, en la elaboración y en el montaje. Los módulos de servicio estándar usados para baños, cocinas, lavaderos o locales destinados a instalaciones domésticas pueden ser fácilmente movidos y sustituidos cuando presentan defectos de funcionamiento o cuando quedan obsoletos. La construcción modular permite unir todos los elementos sin cambios significativos de la obra. La casa móvil, muy difundida en los Estados Unidos, representa una de las formas más populares de domicilio modular prefabricado.

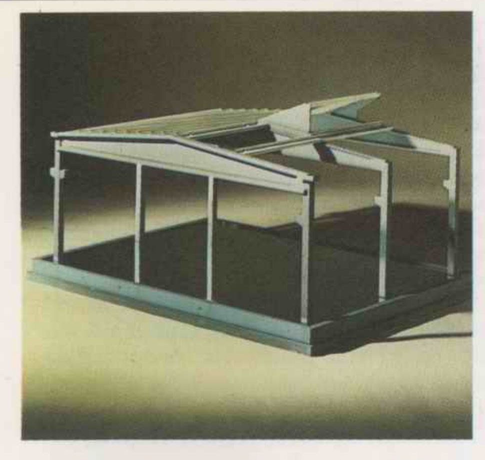
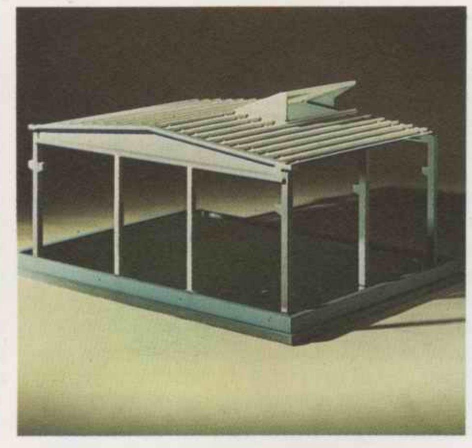
Técnicas y materiales Los componentes para la edificación pueden ser prefabricados utilizando diversos materiales.

Madera. Los tablones de madera cortados a medida para paredes, pilares y tabiques constituyen una de las formas de prefabricación. En la actualidad los carpinteros a menudo incorporan a las tablas diferentes accesorios y mecanismos; pueden ser prefabricados también elementos aislantes: tablones para exteriores, marcos para puertas y ventanas, etc. Armazones de techos, adaptados a muchos usos y a diferentes proyectos, son a menudo fabricados en dimensiones estándar para uso general.

Acero. El acero es utilizado frecuentemente en elementos conjuntos prefabricados para la construcción de edificios, además de para gruesos marcos rígidos, paneles para paredes, escaleras, paneles para suelos y techos, tuberías para las instalaciones eléctricas, etc.. Los constructores pueden prefabricar gran parte de los componentes previstos por los proyectos. Los tableros y las estructuras de refuerzo para la realización de puentes se construyen y se montan en las propias fábricas y posteriormente son transportados a la obra en conjuntos premontados antes de ser instalados *in situ*.

Hormigón. Los componentes prefabricados de hormigón están entre los más difundidos. Forjados, vigas, pilares, cajas modulares y huecos de escaleras, normalmente en combinación entre ellos, son algunos de los elementos en hormigón que se prefabrican. El peso de una pieza de forjado puede ser reducido realizando la parte interna de ésta en forma de nido de abeja. A menudo se obtiene una mayor resistencia colocando el hormigón en encofrados, con barras de acero tensadas situadas en la parte inferior: cuando el hormigón está a punto de fraguar, las barras se liberan y como consecuencia someten a compresión el elemento de hormigón. Esta técnica es conocida como *pretensado*. Normalmente se combinan paneles planos y elementos de forjado para obtener grandes estructuras como edificios destinados para vivienda y módulos utilizados para la construcción de puentes y viaductos.




Plástico. Los canales de desagüe y las tuberías de ventilación prefabricados están difundiéndose cada vez más debido a que permiten reducir los costosos trabajos de instalación en obra de las tuberías higiénico-sanitarias. El revestimiento de vinilo en las láminas metálicas para exteriores permite eliminar la pintura del acabado. Se pueden combinar series enteras de elementos prefabricados realizados con diversos materiales para obtener "núcleos funcionales" para viviendas.

Esta solución prevé la colocación de cocina, baño y lavadero a lo largo de las caras opuestas de una pared común que suministra las salidas para las tomas de corriente eléctrica, para el desagüe y para el gas. Algunas soluciones comprenden solamente los elementos de servicio en el núcleo funcional principal, mientras que otras prevén también la unión de componentes en las paredes, suelo y techo de las habitaciones adyacentes.

Véase **Construcción, materiales de; Edificios, construcción de**

Arriba, las fases del montaje de un hangar prefabricado. Con estas operaciones no es necesaria la colocación de hormigón. El hormigón en masa se utiliza sólo para la consolidación de los cimientos y para la unión de algunos elementos, según se van montando en la estructura. De izquierda a derecha se observa: la ejecución de los cimientos en los cuales se hunden los plintos, también prefabricados, que sostendrán los pilares; la colocación de los pilares portantes sobre los plintos, que se fijan después con un poco de hormigón; la colocación de las vigas con doble inclinación que sostendrán la cubierta; la colocación de los tablones con forma para tejado que sirven para formar las claraboyas; y la instalación de la cubierta y de los paneles exteriores.

Contabilidad mecanizada

Tal vez la contabilidad tuvo su comienzo cuando se produjo la primera transacción de un empresario primitivo. Conservar los registros, ya sea con muescas en un bastón o sobre un libro Mayor bien llevado, es una parte esencial de la contabilidad, pero sólo es el principio. Mantener registradas las transacciones, los inventarios o los salarios de los empleados es, por sí misma, una tarea necesaria; pero la contabilidad va mucho más allá al utilizar los datos financieros de una organización para planificar el futuro.

La información que proporciona la contabilidad debe ser evaluada en el marco del contexto general en que se produce, y que llega a incluir aspectos tales como la situación política y económica, las perspectivas de crecimiento o recesión, la innovación tecnológica, las nuevas leyes fiscales y otros factores similares. No existen límites para lo que puede interesarle a un contable en el desarrollo de su trabajo.

Existen diversas ramas de la contabilidad, entre ellas, la *contabilidad financiera*, la *contabilidad analítica* o *industrial*, —preocupada por determinar y medir los costes reales de las diversas actividades o productos de una empresa—, la *contabilidad previsional* —que pretende estimar las consecuencias de nuevas líneas de acción o políticas a partir de los hechos registrados en el pasado—, la *contabilidad fiscal*, la *contabilidad presupuestaria*, la *contabilidad para instituciones sin fines de lucro* —tales como fundaciones, actividades gubernamentales, institutos de enseñanza, institutos religiosos y de beneficencia—, la *contabilidad nacional*, y finalmente la *contabilidad social* —un campo nuevo que intenta valorar los efectos sociales y sobre el entorno de las actividades industrial y gubernamental—. Para ser operativas, todas estas ramas han de manejar numerosas y diferentes informaciones, teniendo, por tanto, en común su dependencia de datos suficientes, periódicos, fiables y fácilmente obtenibles. Estas circunstancias hacen totalmente natural que se recurra a los ordenadores.

La contabilidad informatizada El uso de los datos elaborados por un ordenador es un modo natural de facilitar el trabajo al contable. El volumen de datos es demasiado grande para ser elaborado o analizado a mano. En la mayor parte de las grandes organizaciones todos los datos, aunque no sean contables, suelen ser tratados con el concurso de ordenadores. No obstante los contables, en general, son también consultados cuando se diseña el sistema para que la naturaleza, la forma, y el contenido de los informes y de los análisis se ajusten al máximo a sus necesidades. De esta manera, el contable desarrolla una función de mayor calidad, dejando que las máquinas hagan el trabajo de recogida, tratamiento y exposición de resultados; y puede también ayudar a determinar cómo introducir mejor los datos sin elaborar en el sistema.

La documentación de entrada o justificante, los registros y los procedimientos para el tratamiento de las transacciones son la base de un sistema de contabilidad.

Los justificantes comprenden docu-



La automatización de la contabilidad exige, con arreglo a las dimensiones de la empresa, diversas instalaciones para introducir, leer escribir y procesar los datos. Entre éstas, están terminales con pantalla, memorias de discos magnéticos, una unidad central de procesamiento y diversas impresoras. A la izquierda, los documentos de los cuales se extraen los datos para introducir en la máquina, y, a la derecha, las gráficas de salida que se obtienen.

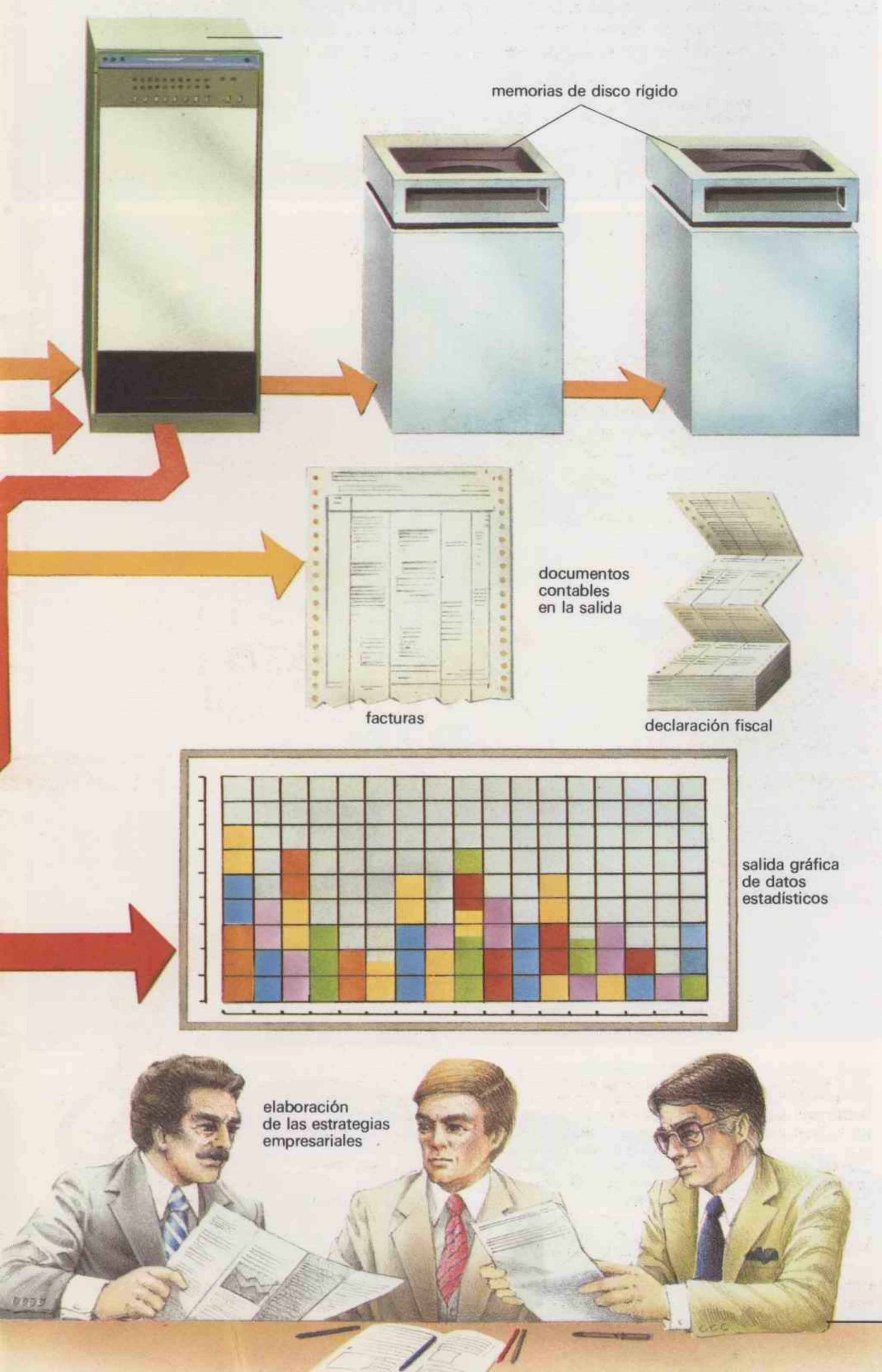
En la compilación de una contabilidad se distinguen diversas fases. La primera es la que se desarrolla con los elementos auxiliares que se presentan sobre estas líneas en las columnas de la izquierda. Los documentos escritos son leídos por operadores expertos y sus datos introducidos mediante los teclados de los terminales. Con fines de control, los datos introducidos se registran mediante las pequeñas impresoras representadas a la derecha. Finalmente, los datos se cargan bajo el control de la unidad central en las memorias de disco. De aquí los datos podrán ser solicitados para usos tales como las declaraciones fiscales o el control de gestión. Las primeras se obtienen escritas mediante las impresoras, mientras que el control de gestión puede desarrollarse directamente por medio de terminales especializados. Otros programas especiales pueden elaborar aquellos datos estadísticos que los directivos requieran para diseñar políticas o programar la estrategia de la empresa.

mentos tales como las facturas de venta, los recibos, las liquidaciones bancarias, y son los testimonios tangibles de la actividad desarrollada.

Los registros comprenden el libro Mayor, el libro Diario, el libro de Inventarios y Balances, y otros similares que puedan ordenar las leyes y sean útiles para compilar datos.

Los procedimientos son los métodos y las reglas generales establecidas para tratar fórmulas y registros.

Los datos pueden ser elaborados para producir no sólo órdenes de adquisición, facturas o talones sino también una amplia variedad de documentos e informes. Pueden ser extractos de cuentas financieras o cualquier otro análisis basado en datos contables útiles para la dirección, el gobierno, los inversores potenciales, los propietarios y para un sin número de empresas industriales, comerciales y de servicios, ayudándoles a todos ellos a decidir sobre acciones futuras.



Existen programas que elaboran informes a la medida de las necesidades de cada empresa, de acuerdo con ciertas opciones de elección múltiple seleccionadas por el propio usuario: son generadores de programas para informes.

Muchos otros tipos de programas completos, y ya preparados para aplicarse, son ofrecidos por los fabricantes de ordenadores o por empresas especializadas en las técnicas de programación. Entre las aplicaciones que se ofrecen, pueden citarse las orientadas hacia la gestión de tesorería, el control de cuentas de clientes y el mantenimiento de inventarios permanentes (el movimiento de los artículos en almacén se sigue sobre una base continua, a diferencia del inventario físico, que normalmente no se realiza más que una vez al año).

Incluso han sido ideados lenguajes artificiales y especializados que tienen como fin facilitar la transmisión de las necesidades del usuario al ordenador.

Pueden enumerarse algunos de los componentes y materiales asociados que se utilizan en la contabilidad informatizada o mecanizada: *medios de entrada*, como carácteres ópticos y de tinta magnética que se fijan sobre los documentos —tal es el caso de los talones— y que son legibles por el ordenador, al igual que las tarjetas y las cintas de papel perforadas. Las *cintas* y los *discos magnéticos* se utilizan para archivar grandes cantidades de datos bajo formas más compactas y fácilmente accesibles para el ordenador. La documentación con carácteres ópticos o de tinta magnética puede ser elaborada por máquinas adecuadas y utilizada para la confección de talones y facturas. Esta documentación exige para su tratamiento unidades de lectura óptica o magnética.

Lo que es más interesante, desde el punto de vista del contable y del directivo, es la posibilidad de obtener prácticamente cualquier información deseada a partir de un sistema mecanizado de tratamiento de datos que esté bien diseñado e integrado. Estos sistemas no sólo proporcionan automáticamente todos los cálculos necesarios sino que pueden ser fácilmente adaptados para desarrollar nuevas aplicaciones.

Por *tratamiento en tiempo real,* se entiende el proceso de actualización continua de los registros, que permite conocer en todo momento el valor real de un dato; por ejemplo, cuál es el saldo de una cuenta corriente, qué cantidad adeudamos a un proveedor, o qué número de unidades de un artículo tenemos en almacén.

La finalidad última de todas las aplicaciones descritas es llegar a un sistema integrado de información, a partir del cual los datos puedan ser utilizados para producir cualquier serie de informes que sea necesaria a la dirección, y que de una forma sencilla y rápida puedan producirse nuevos tipos de informes según sean requeridos.

Véase **Datos, base de; Datos, procesamiento de; Fichero de datos; Ordenador**

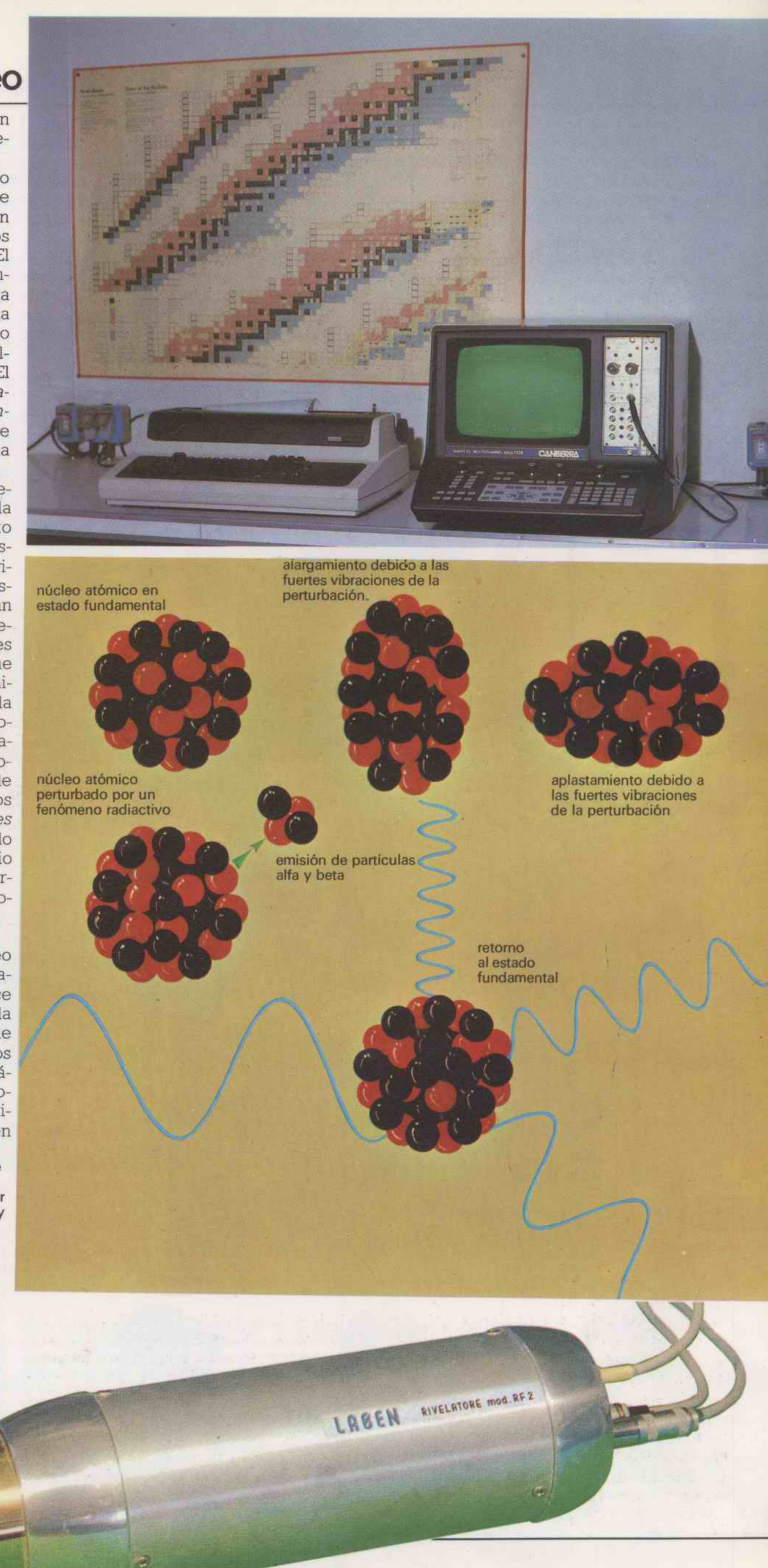
Contador de centelleo

Las radiaciones nucleares sólo pueden ser detectadas con instrumentos adecuados.

A principios del presente siglo, cuando el estudio de las radiaciones acababa de empezar, los equipos de investigación eran aún rudimentarios, y recopilar datos relativos a las mismas era muy difícil. El mejor instrumento de la época (hasta la invención del contador Geiger) lo constituía una pantalla recubierta por una sustancia cristalina que emitía un leve y minúsculo destello luminoso cada vez que era alcanzada por una partícula radiactiva. El resplandor recibió el nombre de *escintilación* y el equipo era conocido como *pantalla de escintilación*. Posteriormente, este proceso de detección de radiactividad ha recibido el nombre de *centelleo*.

El físico británico (nacido en Nueva Zelanda) Ernest Rutherford fue pionero en la investigación de la radiactividad, junto con H. Becquerel, su descubridor, y los esposos Curie. Para los primeros experimentos de Rutherford la pantalla y la sustancia radiactiva eran colocadas en un cuarto oscuro. Antes de comenzar el recuento, Rutherford y sus colaboradores debían esperar durante 15 minutos a que sus ojos se habituasen a la oscuridad. Unicamente entonces era posible examinar la pantalla y registrar los destellos luminosos. Afortunadamente para los investigadores posteriores, se desarrollaron dispositivos que no requerían el recuento de los destellos por parte del hombre. Dichos dispositivos, conocidos como *contadores* (o *detectores*) *de centelleo*, siguen siendo utilizados en la actualidad para el estudio y análisis de las radiaciones, con un enorme desarrollo electrónico de prestaciones.

Centelleo Un contador de centelleo consta básicamente de tres partes: el material fluorescente detector, que produce los destellos cuando es alcanzado por la radiación; un tubo fotomultiplicador, que convierte estos destellos en impulsos eléctricos; y un sistema de registro y análisis de los impulsos para deducir, memorizar y registrar las propiedades cualitativas y cuantitativas de las radiaciones o, en



En los esquemas adjuntos se muestran, a modo de cámara lenta de un proceso que en realidad ocurre en una fracción casi instantánea de tiempo, las vibraciones de un núcleo atómico inestable por sí mismo o por choque con otras partículas, proceso que le lleva a la emisión de radiación, que puede ser de varios tipos y de diversas energías. Precisamente la propiedad de las radiaciones de producir ionización, excitación y otros fenómenos secundarios, como los destellos luminiscentes, es la que sirve para detectarlas, analizarlas, medirlas y conocerlas, lo que se realiza mediante un analizador multicanal (fotografía superior).

el caso más simple, efectuar su recuento. A ello hay que añadir el módulo de la alimentación eléctrica necesaria, que suministra la alta tensión característica del detector.

La elección de las sustancias fluorescentes a utilizar depende del tipo de radiación a estudiar.

Un material fluorescente comúnmente utilizado para detectar las radiaciones alfa, que equivalen a núcleos de helio con carga positiva, es el sulfuro de cinc, que se utilizó en las primeras pantallas detectoras, incluida la de Rutherford. Para detectar las radiaciones beta, que son partículas de carga eléctrica negativa y masa muy inferior a las alfa, a menudo se utilizan sustancias fluorescentes orgánicas derivadas del benceno, como la naftalina y el antraceno. La radiación electromagnética gamma se detecta con facilidad utilizando yoduro de sodio activo con pequeñas impurezas de talio.







Arriba, el proceso mediante el cual se detecta la radiación gamma por centelleo. La radiación, en el esquema superior, tiene una pequeña longitud de onda, a la que corresponde una energía determinada. La radiación penetra en el cristal de yoduro de sodio, en el que se producen los destellos luminosos (se indica hacia la derecha), cuya duración es muy pequeña, del orden de la cienmillonésima de segundo o incluso menor. Cada destello es detectado por el tubo fotomultiplicador, que transforma el impulso luminoso en impulso eléctrico. Arriba se muestra un fuerte impulso correspondiente a una energía de radiación grande (longitud de onda pequeña). Abajo, un rayo gamma "blando", es decir, de gran longitud de onda, produce en el mismo cristal un impulso eléctrico de menor intensidad. Debajo, justo sobre estas líneas, se muestra un contador desmontado: a la derecha puede verse el tubo fotomultiplicador electrónico y a la izquierda el cristal de centelleo, cuidadosamente encapsulado en una envoltura de aluminio para no verse afectado por la luz exterior excepto en la parte de acoplamiento al fotomultiplicador. En la parte central de la página anterior puede verse un contador montado y completo provisto de sus cables para la alimentación del fototubo, para la toma de impulsos salientes y para la alimentación del circuito de preamplificación de los impulsos, que de no ser amplificados resultarían demasiado débiles. En la parte inferior de esa página, la fotografía muestra un módulo electrónico de análisis y registro de los impulsos de un contador de centelleo, denominado *analizador multicanal.* Los más modernos de estos equipos, dotados de electrónica avanzada y microprocesador, permiten la identificación de radioisótopos y su cuantificación de forma totalmente automatizada.

Cuando la partícula radiactiva colisiona con un átomo del material fluorescente comunica energía a algunos de sus electrones, con lo que el átomo pasa de su estado normal, llamado *estado fundamental,* a un *estado excitado.* Al volver a su estado fundamental, el átomo libera este exceso de energía en forma de radiación electromagnética. En el caso de las sustancias fluorescentes, esta radiación corresponde a las frecuencias de los fotones luminosos.

Fotomultiplicación El material fluorescente se encuentra acoplado, por contacto óptico transparente, a un fotomultiplicador, que consiste en un tubo de vacío en cuyo interior se encuentra una serie de placas metálicas cargadas eléctricamente, que reciben el nombre de *electrodos.* Una de dichas placas, el *cátodo,* está recubierta por una sustancia que emite un electrón cuando es alcanzada por un fotón (efecto similar al de la célula fotoeléctrica). Este electrón, al ser emitido, es atraído por otros electrodos positivos, llamados *dinodos,* recubiertos de sustancias que emiten a su vez más electrones al ser alcanzados. Orientados convenientemente los dinodos y aplicándoles una diferencia de potencial escalonada, se consigue ir acelerando y multiplicando los electrones libres en cascada. De esta forma, por cada fotón que alcanza al cátodo originando un electrón, al término del proceso puede llegar al ánodo final un millón de electrones.

Gracias a esta amplificación, los tubos fotomultiplicadores son capaces de detectar y representar destellos luminosos demasiado diminutos y débiles para ser detectados con otros instrumentos ópticos de medida. Para ello, el conjunto descrito, sustancia fluorescente y fotomultiplicador, debe estar recubierto por una protección opaca a la luz exterior.

Cuando la avalancha final de electrones alcanza el ánodo, se produce un impulso eléctrico que originará una señal de tensión eléctrica en el circuito de salida. En el caso de ser absorbida toda la energía de la radiación incidente en el detector fluorescente, la amplitud del impulso eléctrico de salida resulta ser proporcional a dicha energía. En consecuencia, el recuento del número de impulsos y el análisis de sus amplitudes, que puede efectuarse en módulos electrónicos adecuados, permiten obtener una información cualitativa y cuantitativa precisa de las radiaciones estudiadas.

Véase **Fluorescencia; Radiactividad**

Contador Geiger

Aunque nuestros sentidos no son capaces de detectar la presencia de radiactividad, hay varios instrumentos que sí pueden hacerlo. Uno de ellos es un aparato llamado *contador Geiger-Müller*, o, más brevemente, contador Geiger. Además de constituir un revelador para la búsqueda de uranio, también sirve para indicar la presencia de sustancias radiactivas en procesos industriales, químicos y médicos.

Iones Un átomo está constituido por partículas dotadas de carga negativa llamadas *electrones* que orbitan alrededor de un núcleo central cargado positivamente. Las moléculas se forman cuando los átomos comparten parte de sus electrones. Normalmente los átomos o las moléculas son neutros (carga eléctrica total nula), ya que sus cargas positivas y negativas se compensan mutuamente. Sin embargo, en determinadas circunstancias algunos electrones pueden ser adquiridos o cedidos y las moléculas o átomos correspondientes quedarán con una carga eléctrica residual, negativa en el primer caso y positiva en el segundo, recibiendo entonces el nombre de *iones*.

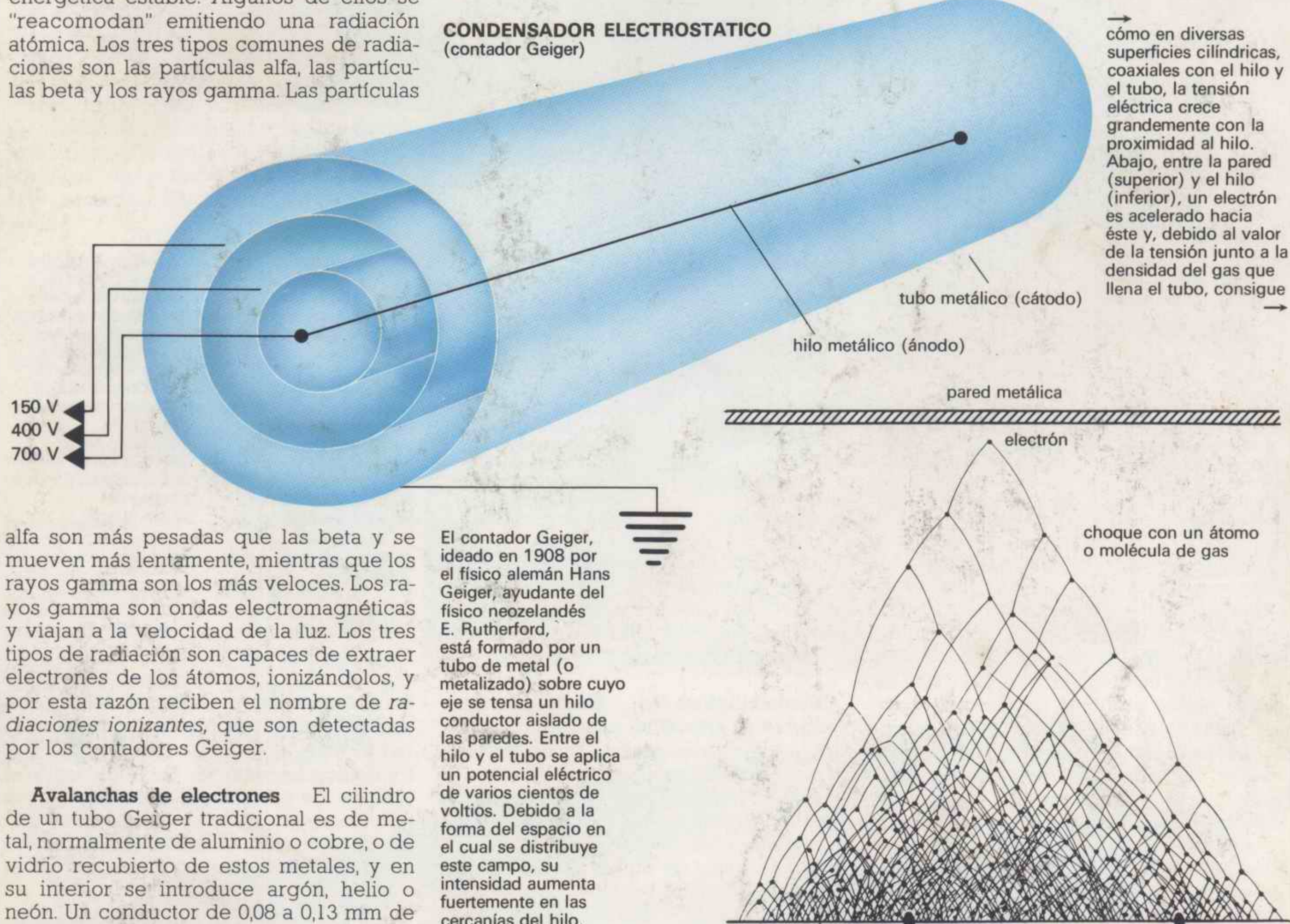
Radiactividad Los núcleos de algunos átomos no tienen una configuración energética estable. Algunos de ellos se "reacomodan" emitiendo una radiación atómica. Los tres tipos comunes de radiaciones son las partículas alfa, las partículas beta y los rayos gamma. Las partículas alfa son más pesadas que las beta y se mueven más lentamente, mientras que los rayos gamma son los más veloces. Los rayos gamma son ondas electromagnéticas y viajan a la velocidad de la luz. Los tres tipos de radiación son capaces de extraer electrones de los átomos, ionizándolos, y por esta razón reciben el nombre de *radiaciones ionizantes*, que son detectadas por los contadores Geiger.

Avalanchas de electrones El cilindro de un tubo Geiger tradicional es de metal, normalmente de aluminio o cobre, o de vidrio recubierto de estos metales, y en su interior se introduce argón, helio o neón. Un conductor de 0,08 a 0,13 mm de diámetro recorre el centro del tubo y se encuentra aislado del mismo por dos taponcitos aislantes situados en sus extremos. El hilo y el cilindro están conectados a un circuito eléctrico: el hilo es el electrodo positivo (ánodo), y el cilindro, el negativo (cátodo).

Cuando se aplica una diferencia de potencial, a un nivel llamado *nivel de Geiger* (entre 800 y 1000 v), los iones producidos por una partícula radiactiva que atraviesa el tubo son acelerados por el campo eléctrico lo bastante como para producir la ionización secundaria de otros átomos, y éstos la de otros sucesivamente, produciéndose de esta forma una avalancha de electrones que se precipitan hacia el hilo central. Se necesitan unos 10 microsegundos (diez millonésimas de segundo) para ionizar todo el gas. Los electrones salen a través del hilo en forma de impulso eléctrico que, convenientemente amplificado, puede conectarse al movimiento de la aguja de un contador o producir un zumbido en unos auriculares. Debido al *efecto avalancha*, el impulso es el mismo cualquiera que sea la energía de la radiación que ha conseguido penetrar y producir la ionización inicial.

Sin embargo, los contadores Geiger pueden distinguir distintos tipos de radiación: un tubo con una densidad de la ventana de detección de 300 miligramos por centímetro cuadrado sólo permitirá el paso de rayos gamma; un tubo de 30 miligramos por centímetro cuadrado dejará pasar los rayos gamma y también la mayor parte de las radiaciones beta. Si se desea tener una pared aún más delgada, se utiliza una ventana de mica o de berilio muy delgada (5 mg/cm^2) con un diámetro de unos 2,5 cm, que ya permite el paso de partículas alfa. Utilizando alrededor del tubo pantallas de distintos espesores pueden obtenerse valores medios de los distintos tipos de radiación.

Detección sucesiva de impulsos Después de la detección de un impulso, los electrones de la avalancha han sido absorbidos por el electrodo central, quedando una carga residual de iones positivos que ha de desaparecer para que pueda tener lugar una nueva detección. Esto se consigue mezclando el gas detector con una cierta proporción de otro gas denominado *extintor*. Antes se utilizaba alcohol, pero actualmente, con el empleo de halógenos como el cloro o el bromo —que no se consumen como el alcohol porque vuelven a recombinarse después de su disociación—, se consigue una duración muy superior de los tubos, que pueden además trabajar a tensiones eléctricas más bajas (alrededor de unos 300 voltios).



El contador Geiger, ideado en 1908 por el físico alemán Hans Geiger, ayudante del físico neozelandés E. Rutherford, está formado por un tubo de metal (o metalizado) sobre cuyo eje se tensa un hilo conductor aislado de las paredes. Entre el hilo y el tubo se aplica un potencial eléctrico de varios cientos de voltios. Debido a la forma del espacio en el cual se distribuye este campo, su intensidad aumenta fuertemente en las cercanías del hilo. Arriba se muestra → cómo en diversas superficies cilíndricas, coaxiales con el hilo y el tubo, la tensión eléctrica crece grandemente con la proximidad al hilo. Abajo, entre la pared (superior) y el hilo (inferior), un electrón es acelerado hacia éste y, debido al valor de la tensión junto a la densidad del gas que llena el tubo, consigue →

Todo este proceso ocurre de una forma tan rápida que en un lapso de unos 200 microsegundos el tubo vuelve a estar dispuesto para realizar una nueva detección.

El rendimiento de detección de los contadores Geiger es notablemente mayor para partículas (radiación alfa o beta) que para radiación electromagnética, debido al mayor poder de ionización de aquéllas.

Aplicaciones El contador Geiger, mejorado por Müller a los pocos años de su invención y, más recientemente, por la incorporación de gas autoextintor halógeno y de la electrónica moderna, sigue siendo un instrumento imprescindible en la detección y vigilancia de la radiactividad, a la que puede detectar desde niveles muy bajos producidos por campos de radiación de poca intensidad o por superficies contaminadas con radiactividad, hasta niveles altos en los tubos diseñados para campos de radiación de alto flujo. Con la incorporación de la electrónica moderna digital se han desarrollado modelos para la vigilancia individual de las dosis de radiación recibidas por el personal profesionalmente expuesto a las radiaciones.

Véase **Radiactividad**

→ alcanzar una velocidad suficiente, antes de chocar con otro átomo o molécula de gas, como para producir en el choque una nueva ionización y el proceso continúa. De esta forma el número de electrones que se desplaza hacia el hilo aumenta hasta formar una descarga eléctrica (impulso de corriente).

En la imagen de abajo, modelo portátil de contador Geiger. Esencialmente se compone del tubo propiamente dicho (o sonda), convenientemente dotado de una rejilla externa de protección y que puede desprenderse de su soporte para permitir su movilidad durante la prospección, y el módulo de electrónica que agrupa la alimentación primaria (pilas o baterías en este caso) y los circuitos electrónicos de alimentación e integración. El primero de estos circuitos suministra la alta tensión al tubo detector; el segundo recoge los impulsos eléctricos originados en la detección para "contarlos" indicándose el valor medio de la respuesta (en cuentas, o impulsos, por segundo o por minuto), en las distintas escalas conmutables, a través de la aguja móvil. Aquí a la derecha, el panel de la caja de electrónica del contador aparece extraído de la misma, mostrando los circuitos electrónicos internos y los diferentes valores de las escalas conmutables con el botón central (de 0,1 a 100 impulsos por minuto). El otro conmutador (más abajo) permite seleccionar una respuesta electrónica más lenta y constante o más rápida y fluctuante. En general, la detección de emisiones radiactivas se basa en el carácter ionizante de las mismas.

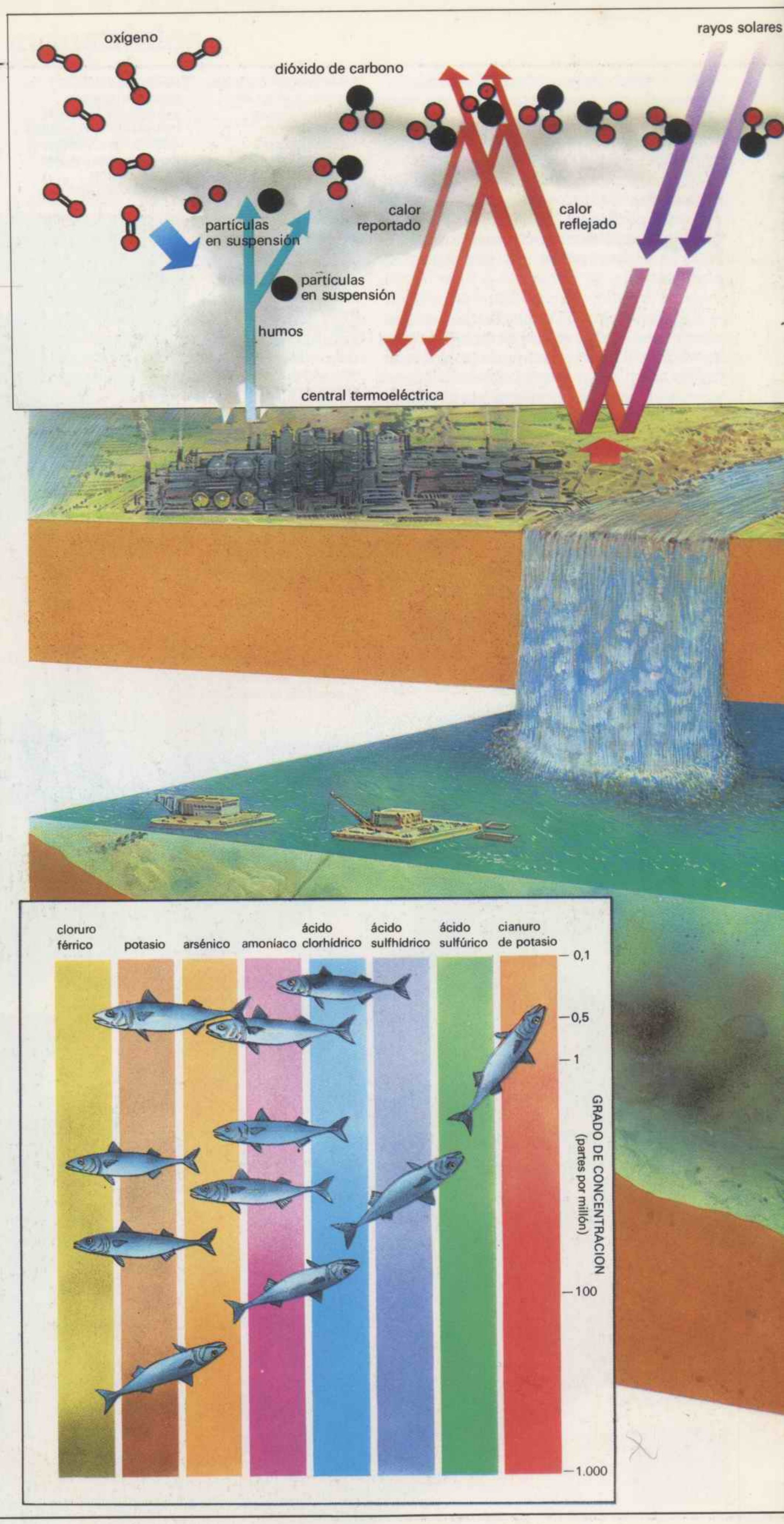


Contaminación

La contaminación es un concepto muy general que significa que algo se hace inadecuado para un uso concreto; por ejemplo, el agua se califica de contaminada cuando no se puede beber. La contaminación puede consistir en la acumulación de productos inocuos o tóxicos en algún lugar, en el aumento de temperatura o ruido, en la presencia de sustancias radiactivas o de organismos patógenos o parásitos, etcétera.

En julio de 1976 una explosión en una fábrica de productos químicos produjo una nube blanca de gas que envolvió la ciudad italiana de Seveso. Esta nube llevaba una cantidad estimada entre 10 y 60 kg de dioxina, veneno mortal muy potente. Se dice que con 100 gramos de dioxina disuelta en las reservas de agua de Nueva York bastaría para exterminar a su población. En aquella ocasión, se evacuaron los 730 habitantes de Seveso, afectados por quemaduras, molestias internas y con el peligro de alteraciones cromosómicas. Murieron centenares de animales y los de las zonas de los alrededores no se pudieron utilizar para alimentación humana; lo mismo ocurrió con las plantas. Aunque la nube se disolvió en media hora, la dioxina siguió difundiéndose durante meses, transportada por personas, animales, automóviles o agentes naturales. El desastre de Seveso es un ejemplo de contaminación total de un entorno y demuestra que las sustancias tóxicas se propagan por los ecosistemas con gran facilidad. Una vez que se ha producido una contaminación de este tipo, no se puede asegurar en ningún momento que se haya superado, debido a que las sustancias venenosas se introducen en el suelo y en el agua, siendo absorbidas por microorganismos y plantas, que a su vez se convierten en alimento para otros seres y éstos para otros y así sucesivamente, circulando los contaminantes por las cadenas tróficas. A esto se suma el fenómeno de la *concentración biológica*, que consiste en que los organismos concentran muchas de estas sustancias. Es decir, las plantas pueden absorber los contaminantes en concentraciones pequeñas, pero un herbívoro a lo largo de su vida puede comer muchas plantas y puede no degradar ni excretar el contaminante, de manera que se va acumulando en sus tejidos. Un carnívoro que se alimente de dichos herbívoros, y a su vez acumule el tóxico, puede presentar, en alguno de sus tejidos, concentraciones de 1.000 o más veces la concentración de dicho tóxico en el medio. Por este motivo los contaminantes dañan preferentemente las especies de niveles tróficos altos, que, en general, se reproducen lentamente, son de vida más larga y normalmente de tamaño mayor, como las aves rapaces, los mamíferos, los carnívoros e incluso el hombre. Además, los contaminantes pueden ocasionar mutaciones genéticas que pueden afectar a las generaciones futuras.

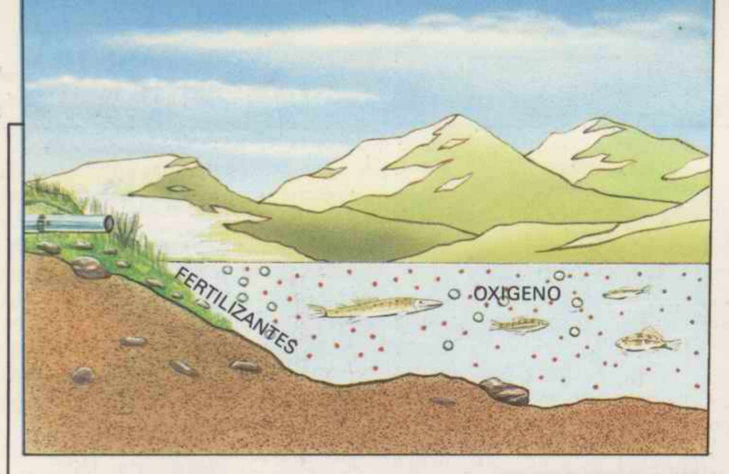
El envenenamiento de las cadenas tróficas se puede originar por productos quí-

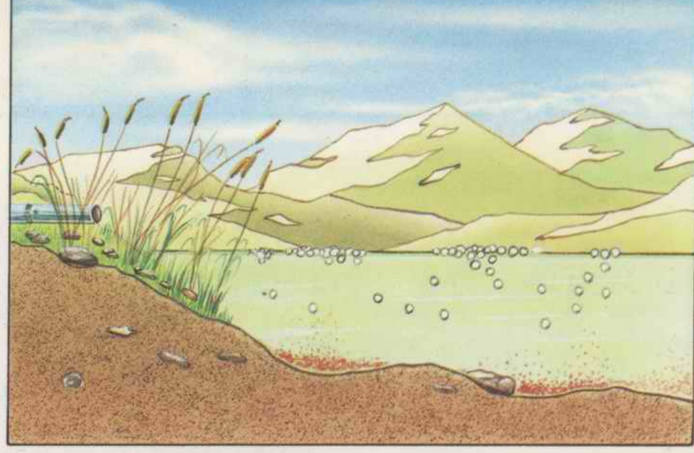




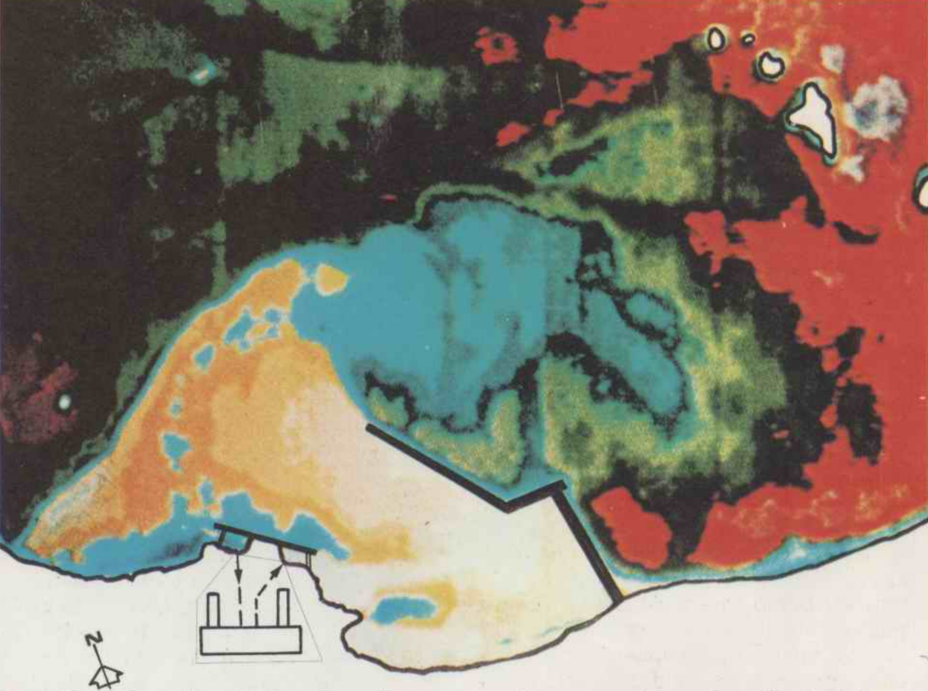
Desde hace siglos, el hombre aprovecha las riquezas del planeta en que habita. Los desechos producidos llegan antes o después al mar, que recoge la desastrosa herencia de los residuos resultantes de las actividades humanas. El mar, por el momento, continúa absorbiendo los residuos a pesar de estar saturadas algunas zonas. En la página anterior (cuadro de abajo) se puede ver el grado de contaminación expresado en función de la concentración de algunos de los productos químicos utilizados por distintas industrias. No solamente están "muertos" algunos lagos, ríos o mares, sino el mismo aire que respiramos tiene un alto grado de contaminación: las industrias, las centrales termoeléctricas, etc., lanzan a la atmósfera humos con distintos compuestos químicos. Además, todas las combustiones ↓

↓ producen dióxido de carbono que va a parar a la atmósfera, y este compuesto absorbe la radiación infrarroja. Esto puede hacer que a la Tierra le cueste más enfriarse y se corre el peligro de que la temperatura del planeta sufra alteraciones importantes.





Arriba, eutrofización de las aguas de un lago. Al entrar en el lago sustancias nutritivas para las plantas, las algas microscópicas se multiplican de forma exagerada. Esto hace que el agua del fondo se empobrezca en oxígeno. Los peces y animales del fondo se mueren por falta de oxígeno. A la derecha, contaminación térmica de una zona de mar debida a una central termonuclear: blanco = 16 °C, amarillo = 15 °C, azul = 14 °C, verde = 13,5 °C y rojo = 13 °C.



micos industriales que se introducen accidentalmente en la cadena, o por productos químicos utilizados habitualmente en la agricultura, como son los insecticidas, herbicidas y fertilizantes. Puesto que las concentraciones aumentan a medida que se avanza en la cadena, cantidades pequeñas, admitidas como no peligrosas, pueden aumentar y convertirse en peligrosas para las personas que comen peces y otros animales contaminados. Un ejemplo de este proceso es el que se produjo en la ciudad industrial de Minamata, en Japón. Una fábrica local de productos químicos utilizaba en sus procesos de producción un compuesto de mercurio, que después vertía al medio ambiente a través de los desagües. Centenares de personas para las que el pescado era la base de la alimentación empezaron a sentir síntomas de envenenamiento por mercurio, que en los casos peores provocó graves daños cerebrales.

Los productos químicos pueden entrar en el organismo también a través de los pulmones al respirar o a través de la piel por contacto. Los soldados combatientes en Vietnam que habían estado en contacto con la dioxina del defoliante *Agente Naranja* (sustancia que produce la caída de la hoja al pulverizarla sobre la planta) sufrían erupciones cutáneas, cierta torpeza y hemicráneas persistentes. Se sospecha que su contacto con la dioxina sea responsable también de malformaciones de la columna vertebral y de otros huesos encontrados en sus hijos.

Desastres como los debidos a los defoliantes o los ocurridos en Seveso o Minamata dan una imagen de contaminación muy grave, pero son debidos a accidentes, mientras que las causas principales de la contaminación son los efectos de los procesos que conlleva la vida cotidiana de una sociedad industrializada como la nuestra. Conducir un automóvil, incinerar los vertederos, calentar una casa o fabricar piezas de acero son acciones que producen grandes cantidades de humo, calor, ruido y desechos. Todos estos efectos, térmicos, acústicos o químicos, se introducen en los ecosistemas, afectando a todos los seres vivos que los componen.

En Ecología podría decirse que la contaminación resulta de una alteración de las condiciones de equilibrio de un ecosistema, es decir, un desequilibrio entre lo que entra o se produce en el ecosistema y lo que sale o se descompone. La contaminación se deriva en general del transporte, es decir, éste comporta la acumulación local de materiales de tal manera que no se pueden reciclar. Estos materiales desencadenan entonces casi siempre un mismo proceso, el de simplificar los ecosistemas, quedando sólo unas pocas especies, las que resisten. Estas son normalmente especies que viven poco tiempo pero que se reproducen muy deprisa.

Contaminación orgánica La contaminación orgánica consiste en la acumulación exagerada de moléculas producidas por los seres vivos, en general biodegradables, es decir, de materia orgánica. El ejemplo más importante hoy día es el de la *eutrofización cultural de las aguas*.

Un lago o embalse eutrófico es aquel que contiene y al que llegan grandes cantidades de nutrientes para las algas y plantas, principalmente nitratos y fosfatos, que hacen que la producción de éstas se incremente muchísimo. Un lago eutrófico es un lago muy productivo.

El hombre, al verter aguas residuales en los lagos o embalses, incrementa el nivel de materia orgánica y de nutrientes. Así transforma en lagos o embalses eutróficos lagos o embalses que no lo eran. Cuando grandes cantidades de materia orgánica entran en un lago por medio de las aguas residuales, se van descomponiendo, aumentando el número de bacterias y descomponedores del lago o masa de agua. Si hay demasiada materia orgánica, no se puede descomponer toda y una parte se sedimenta. En la descomposición se consume oxígeno, con lo que el oxígeno disuelto en el agua de las capas profundas va agotándose.

Los nutrientes, fosfatos y nitratos, hacen que se desarrollen las algas del plancton con gran abundancia: el agua se vuelve verde. Las algas muertas van cayendo al fondo y en su descomposición consumen el poco oxígeno que quedaba. Los peces y otros animales mueren asfixiados. En los sedimentos del fondo tienen lugar procesos anaeróbicos de descomposición de la materia orgánica, liberándose gases malolientes como el ácido sulfídrico (olor a huevos podridos) que asociamos en nuestra mente al concepto de contaminación.

El hombre, además, al acelerar la erosión, aumenta la sedimentación de materiales en el lago, disminuyendo su profundidad media y con ello la posible descomposición de la materia orgánica antes de llegar al fondo. Igualmente, al utilizar fertilizantes artificiales solubles y compuestos de nitrógeno y fósforo en los detergentes aumenta la cantidad de nutrientes que llega a los lagos, con el consiguiente aumento de las algas del plancton.

Otro ejemplo de acumulación de materiales, principalmente orgánicos, son los vertederos de basuras.

La solución para los residuos es el reciclaje, utilizando la materia orgánica para la producción de abonos, y las materias inorgánicas, de nuevo como materias primas en los procesos industriales (como es el caso de la chatarra de metales). Esta transformación de residuos en materia útil es esencial para la industria, ya que las reservas de minerales son limitadas.

Contaminación química Se refiere a la presencia en la biosfera de sustancias químicas, muchas de las cuales no son naturales sino artificiales, y que el hombre esparce en grandes cantidades sin tener en cuenta que la vida en su evolución no se ha podido adaptar a ellas y sin saber qué efectos pueden producir.

Las sustancias químicas más importantes por su uso son los pesticidas en general, tóxicos que utiliza el hombre para matar a sus competidores (por ejemplo, las ratas de los graneros), o los de uso más extensivo, como insecticidas y herbicidas, para combatir los insectos, hongos o malas hierbas en los campos de cultivo. Sin embargo, como se ha dicho, las especies de vida larga y niveles tróficos más altos son las que acumulan más estos tóxicos. Estas especies pueden resultar así más afectadas que las que queremos combatir, puesto que las especies que producen plagas son aquellas que poseen una gran capacidad de multiplicación y que pueden desarrollar mecanismos de resistencia.

Contaminación radiactiva Tiene su origen en elementos radiactivos procedentes de explosiones nucleares y centrales atómicas productoras de energía eléctrica. Las radiaciones dañan las estructuras vivas. Igual que ocurre con el DDT, especies generalmente de niveles tróficos altos acumulan elementos radiactivos y son las más afectadas. Muchos de estos elementos radiactivos siguen el metabolismo de su isótopo normal. Por ejemplo, el yodo radiactivo (como si fuera yodo normal) se acumula en el tiroides del hombre y produce una enfermedad.

Contaminación térmica y atmosférica Los ecosistemas en los que se pueden notar más los efectos de esta contaminación son los lagos y las zonas fluviales. Las centrales térmicas de producción de energía eléctrica y, sobre todo, las centrales nucleares suelen refrigerarse mediante grandes cantidades de agua que toman de los ríos y que devuelven del orden de 10 °C a 15 °C más caliente. Este calentamiento del agua crea zonas que por su temperatura no permiten la reproducción de los peces y acelera las reacciones biológicas y químicas que provocan también un crecimiento excesivo de algas, si hay suficientes nutrientes, con los problemas que de ello derivan y que se han descrito anteriormente. Otro ejemplo de este tipo de contaminación es el aumento de temperatura en las grandes ciudades por la transformación en calor de parte de la energía que se utiliza en las casas e industrias para su iluminación, refrigeración, calefacción, etcétera.

En las grandes ciudades se forma una cúpula de aire caliente que, cargada de partículas de los humos de los coches, centrales térmicas, industrias, etc., queda retenida y no se eleva. Los gases que componen este aire, sobre todo los óxidos de azufre y nitrógeno, son nocivos para la vida, incluso para la del hombre, de modo que el número de enfermedades respiratorias se hace alarmantemente mayor en las ciudades.

El dióxido de azufre, además, se combina con el vapor de agua dando ácido sulfúrico, lo que origina las lluvias ácidas, muy perjudiciales para las plantas y que son la causa de la corrosión de edificios y esculturas.

Contaminación acústica La civilización industrial nos ha traído también la contaminación acústica, producida por la gran cantidad de ruidos generados que pueden ocasionar alteraciones en el oído y efectos psíquicos secundarios. Desde el punto de vista de la Medicina laboral, existe una diferencia importante entre "sonido" y "ruido": el primer término indica las vibraciones que se transmiten por el aire y llevan una información que produce una sensación auditiva; en cambio, el término *ruido* indica una onda acústica caracterizada por la irregularidad en todos sus aspectos.

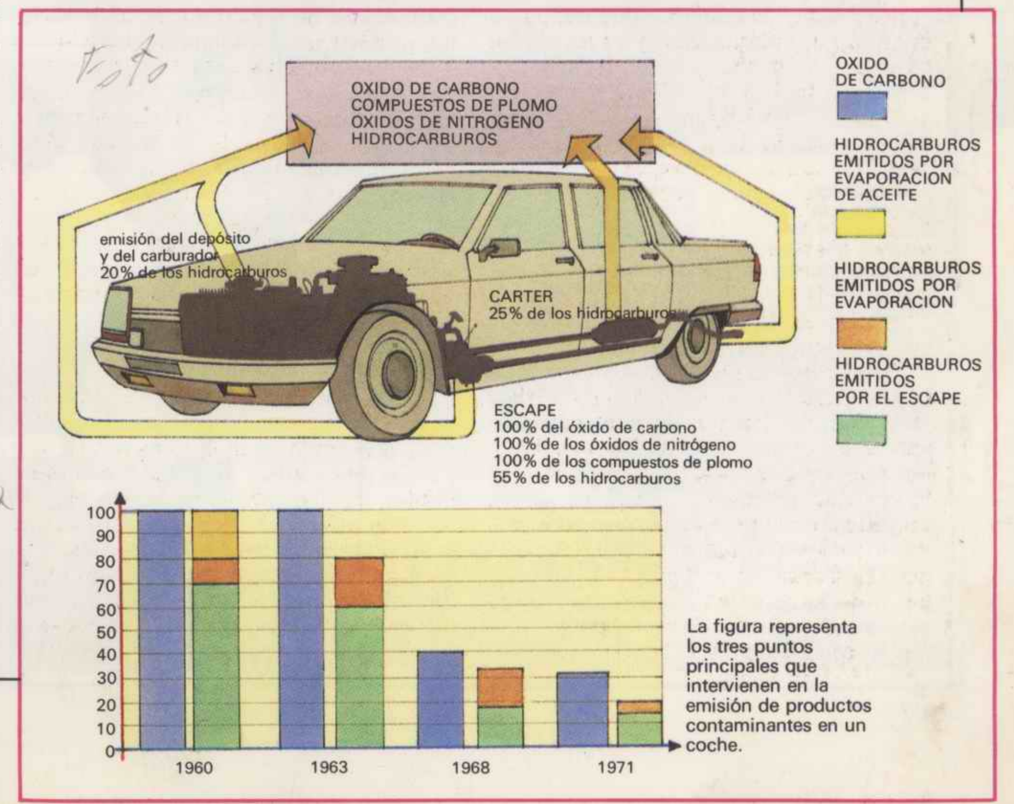
Tanto los sonidos como los ruidos se pueden caracterizar por su *frecuencia* y por su *intensidad*: la primera se mide en Hertzios (Hz) y la segunda en decibelios (dB). El oído humano puede oír sonidos con frecuencias comprendidas entre 20 y 20.000 Hz, mientras que el nivel crítico superior de intensidad se ha fijado experimentalmente en los 85 dB.

Se ha establecido una escala de los niveles de intensidad de ruido en la que el rumor producido por las hojas o el susurro de la voz humana tienen un nivel de 1 dB, el ruido medio de una oficina moderna está en torno a los 50 dB, el tráfico intenso o un martillo neumático producen un ruido de 90 dB, y un motor a reacción, de 120 dB, por lo que resulta peligroso para el oído.

El ruido excesivo daña principalmente el oído interno, lesionando de forma grave o irreversible las células ciliadas, que son las encargadas de transformar las vibraciones mecánicas en impulsos nerviosos, y las fibras nerviosas correspondientes. Los sonidos más peligrosos son los agudos, de frecuencias entre 3.000 y 6.000 Hz. Los efectos dañinos de la contaminación acústica sobre el organismo son, en primer lugar, la sordera, que se puede producir por estar oyendo continuamente un ruido de 85 dB, como puede ser el producido por tráfico intenso.

El problema de la contaminación preocupa a la Humanidad desde que sus efectos se hicieron notar. Solamente se podrá garantizar la vida en el futuro realizando un esfuerzo para salvar los recursos naturales.

Véase **Acústica; Algas; Ecología; Fisión nuclear; Fotosíntesis; Oído; Residuos, eliminación de**



La figura representa los tres puntos principales que intervienen en la emisión de productos contaminantes en un coche.

Contestador automático

Durante los años setenta el contestador automático se convirtió en un elemento indispensable en la vida de millones de usuarios telefónicos de todo el mundo. Dejó de existir la preocupación de poder hacer llegar un mensaje importante a una persona siempre que tuviese el teléfono conectado a uno de estos aparatos. Los poseedores de un contestador automático pueden ausentarse de su domicilio o de su lugar de trabajo sin preocuparse de perder una llamada importante, ya que tienen una "secretaria electrónica" que recibe los mensajes dirigidos a ellos.

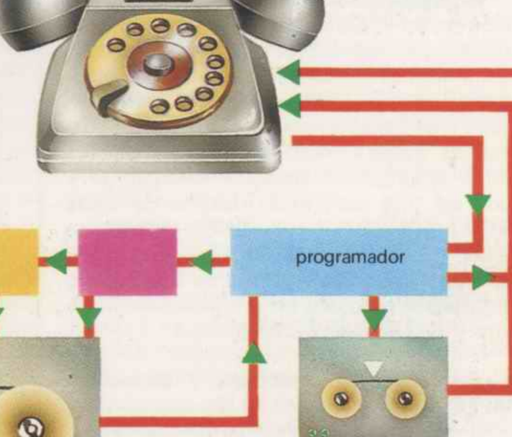
El contestador telefónico automático es un dispositivo para transmitir un mensaje a la persona que llama en ausencia del titular de un teléfono, y generalmente puede también recoger cualquier mensaje que quiera dejar quien efectúa la llamada.

Mensajes en cinta Los contestadores telefónicos automáticos están constituidos esencialmente por grabadores de cinta, utilizando la mayor parte de los modelos dos *cassettes* separadas. El mensaje está contenido en una *cassette*. Cuando suena el teléfono, una señal eléctrica recorre la línea activando automáticamente la cinta continua (es decir, con los extremos unidos) sobre la que está grabado el mensaje de la respuesta. Una pequeña banda de lámina metálica sensible hace avanzar automáticamente la cinta hasta el punto de partida después de cada llamada. El que llama, al cerrar la comunicación, genera la señal que ordena el rebobinado de la cinta. Mientras tanto, el segundo *cassette*, que tiene mayor duración, empieza a funcionar cuando la primera cinta llega al final, hecho que generalmente se indica mediante una señal acústica intermitente.



Hay también aparatos que utilizan una sola cinta. En este caso, el mensaje que se ha de transmitir se graba previamente en un "bucle cerrado" de cinta mediante técnicas normales de grabación, que incluyen una cabeza de borrado para eliminar los mensajes grabados anteriormente en el "bucle". Cuando se activa el equipo por efecto de una llamada, el mensaje se reproduce y la cinta se para automáticamente al finalizar el recorrido del "bucle" grabado. No obstante, en algunos contestadores, sobre todo los que trabajan con mensajes grabados de corta duración (entre 15 y 30 segundos), es normal permitir hasta dos ciclos de cinta, esto es, repetir el mensaje antes de que se detenga el equipo.

Hay varias formas de detectar cuándo la cinta ha completado un ciclo. Una de ellas consiste en perforar un pequeño agujero en la cinta; cuando éste pasa ante un rayo de luz, es activada una célula fotoeléctrica que, a su vez, controla el circuito que detiene el motor de acciona-



El contestador telefónico está equipado con dos *cassettes:* una tiene grabado el mensaje de contestación a la llamada, mientras que la otra está a disposición para grabar los mensajes dejados por los que llaman (dibujo de la derecha). Cuando suena el teléfono, una señal eléctrica recorre la línea poniendo en funcionamiento la primera cinta (que tiene los extremos unidos y, por lo tanto, es continua). Al final del mensaje fijo y después de la señal de partida de la segunda *cassette*, el aparato graba el mensaje del interlocutor. El contestador telefónico representado aquí funciona de forma totalmente autónoma. Responde a las llamadas e invita al interlocutor a dejar mensajes con posibilidad de tiempos libres hasta de una hora. Después de una pausa en la conversación de algunos segundos, se interrumpe. Si el usuario se encuentra ausente, puede acceder al contestador mediante un código vocal personal.

miento. Otra forma de detectar el fin del ciclo consiste en colocar una pequeña banda de metal conductor en el "bucle" de cinta. Cuando ésta pasa sobre dos contactos adyacentes, cierra un circuito que acciona un interruptor electrónico o *relé*, que detiene el motor. Otros contestadores detectan un aumento del espesor de la cinta al final del mensaje y se paran.

Una vez libre el circuito de accionamiento, la inercia del sistema lleva la cinta algo hacia adelante antes de detenerse por completo, de forma que el dispositivo pueda ser activado por la siguiente llamada.

El tiempo concedido para los mensajes varía muchísimo. Con los dispositivos de tiempo fijo se conceden, aproximadamente, de 10 a 30 segundos para dejar un mensaje en la cinta continua. Los que llaman tienen un lapso fijo de tiempo, generalmente un máximo de 30 segundos, durante el cual pueden dejar el mensaje. Pero también existen aparatos de tiempo variable, que permiten modificar la duración del mensaje entre el anuncio del receptor y el tiempo concedido para la comunicación de quien llama.

Algunos aparatos disponen de la característica denominada "activación vocal". Mediante este sistema, la cinta del mensaje que se recibe funciona solamente mientras está hablando el que llama, de manera que los mensajes se graban casi continuamente, eliminando los largos tramos de "espacios muertos" causados por las pausas del que habla, e incluso se corta la comunicación si el silencio supera los 15 segundos.

Muchos aparatos también incluyen un contador de llamadas, que permite a los usuarios conocer con precisión el número de llamadas recibidas durante su ausencia.

También hay aparatos que pueden desconectarse y no grabar ningún mensaje. Una vez que el equipo responde a la llamada, da el mensaje de salida y después interrumpe la comunicación automáticamente. Otros aparatos pueden memorizar dos mensajes distintos, que se pueden utilizar, uno u otro, según sean las circunstancias. Las llamadas también se pueden visualizar en una pantalla. Finalmente existe la posibilidad de escuchar mientras el aparato graba la llamada, lo que permite al receptor contestar inmediatamente o aplazar la respuesta.

Informaciones a distancia Muchos tipos de contestadores telefónicos ofrecen la posibilidad de acceso a distancia llamando al propio número; además, activando una señal acústica accionada con un tono determinado, se pueden escuchar todos los mensajes grabados en la cinta receptora. También se puede tener un mensaje privado para transmitir cuyo acceso y disponibilidad están permitidos únicamente a quien utilice un sistema de control remoto determinado. Este sistema, por ejemplo, puede transformar un teléfono en una especie de boletín electrónico a través del cual los miembros de una familia o el personal de una oficina pueden dejarse recíprocamente mensajes orales, grabados en la cinta. También existe una clave personal de seguridad para algunos de estos dispositivos de control a distancia. El usuario puede cambiar el código cuando quiera, para salvaguardar los mensajes en caso de que se pierda el mando a distancia o caiga en manos inadecuadas.

Véase **Teléfono**



Continente

Entre hace dos mil y cuatro mil millones de años comenzaron a formarse sobre la superficie terrestre grandes masas de tierra firme. A pesar de ello, hasta prácticamente este último siglo —un verdadero instante, comparado con la duración de una era geológica— los científicos no han estado en condiciones de formular teorías sobre el origen, la evolución y la historia de estas superficies de tierra firme llamadas *continentes*. Los continentes forman parte de la corteza terrestre que se eleva sobre el nivel del mar. Los geólogos incluyen como parte de ellos la *plataforma continental* (el suave declive que se extiende hacia mar abierto a partir de la línea costera) y el *talud continental* (una pendiente más acentuada, mediante la cual la masa continental declina gradualmente hacia el fondo del océano). En la Tierra existen seis continentes: Eurasia (superficie: 54.600.000 km², comprende Europa y Asia), Africa (29.888.000 km²), América (41.982.074 km², comprende América del Norte, América Central y América del Sur), Antártida (13.500.000 km²), y Australia (7.800.000 km²).

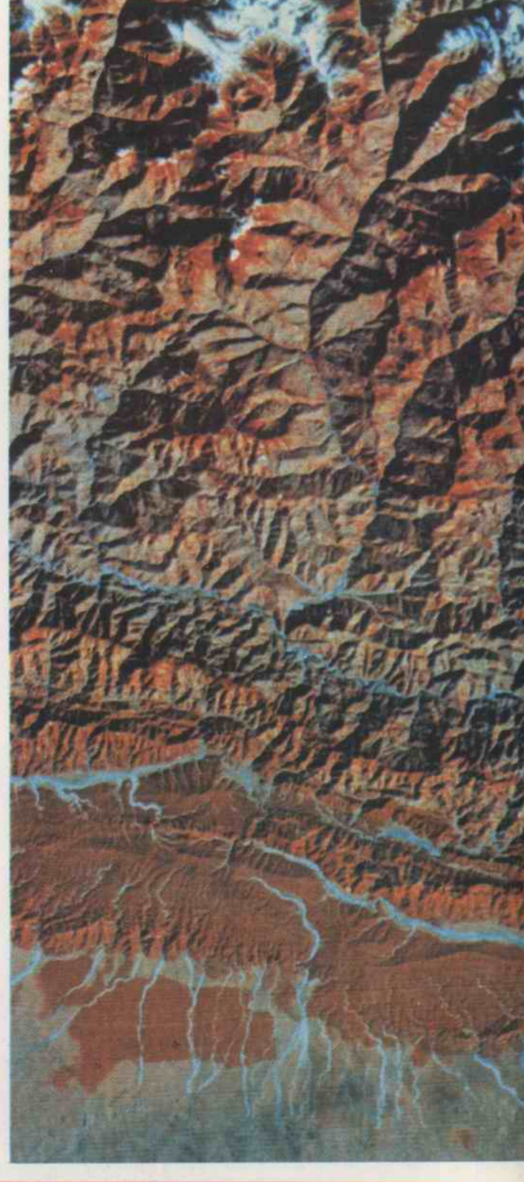
Los continentes y sus plataformas constituyen el 34% del total de la superficie terrestre.

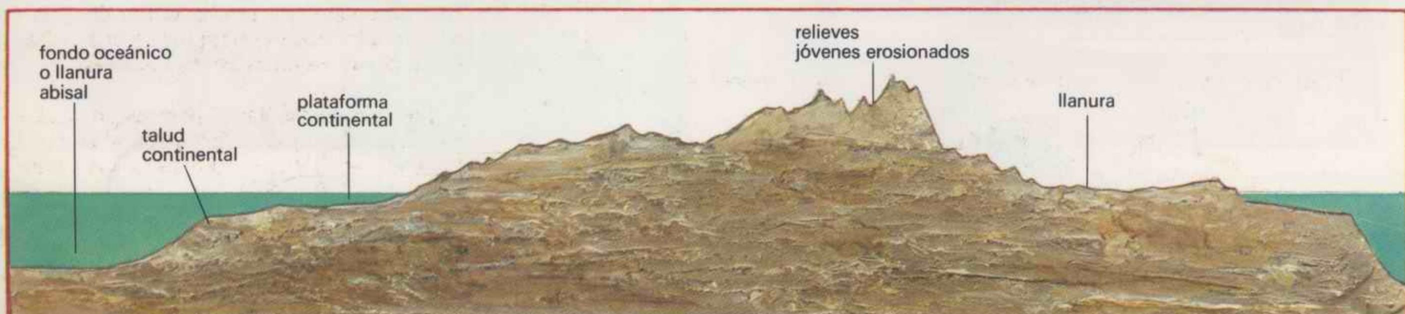
Paisajes cambiantes Los continentes no son realmente las formas compactas y estables que muestran los mapas. En realidad están en permanente modificación, aunque estas variaciones, sobre todo de tipo volcánico y sísmico, se hacen evidentes sólo a lo largo de millones de años. Esos cambios son producto de las interacciones entre la *corteza* (la capa terrestre más externa) y el *manto* (la capa subyacente, formada por rocas más densas). Estas dos capas están separadas por una línea divisoria, llamada *discontinuidad de Mohorovičič*. La corteza tiende a ser más delgada bajo las llanuras continentales (hasta 32 km.) que bajo las cadenas montañosas continentales (hasta 64 km.). Por el contrario es mucho más delgada bajo el fondo del océano.

Fases de la formación Los geólogos sostienen que la Tierra ha conocido siete etapas fundamentales en la formación continental. Estas fases, evidentemente, comenzaron cuando las sustancias radiactivas del núcleo terrestre generaron calor y presión, fundiendo las partes internas del planeta. El material fundido, llamado *magma*, se abrió camino hacia la corteza, y por fin hacia la superficie a través de grietas y hendiduras. Parte del magma, simplemente, "hizo subir" la corteza terrestre con el calor y la presión. Asimismo, otra parte del magma pudo esparcirse sobre la superficie de la Tierra en forma de lava expulsada por un volcán. Esta lava da lugar a una roca cristalina, que se reconoce fácilmente, lo que ha permitido que los geólogos puedan localizar las zonas más antiguas de los continentes. Estas rocas son ricas en silicatos relativamente ligeros y ácidos. Se piensa que, en el transcurso de centenares de millones de años, esos magmas más ligeros han ascendido a través de las rocas más densas que forman el manto, provocando, de hecho, que los continentes "floten" por encima de enormes "mares" de *basalto*, una roca volcánica densa y pesada. El estado de equilibrio entre rocas pesadas y ligeras sobre la superficie y sobre la corteza terrestre se denomina *isostasia*. Este principio contribuye a explicar el movimiento de los continentes sobre la corteza de la Tierra, teoría conocida como *deriva continental*.

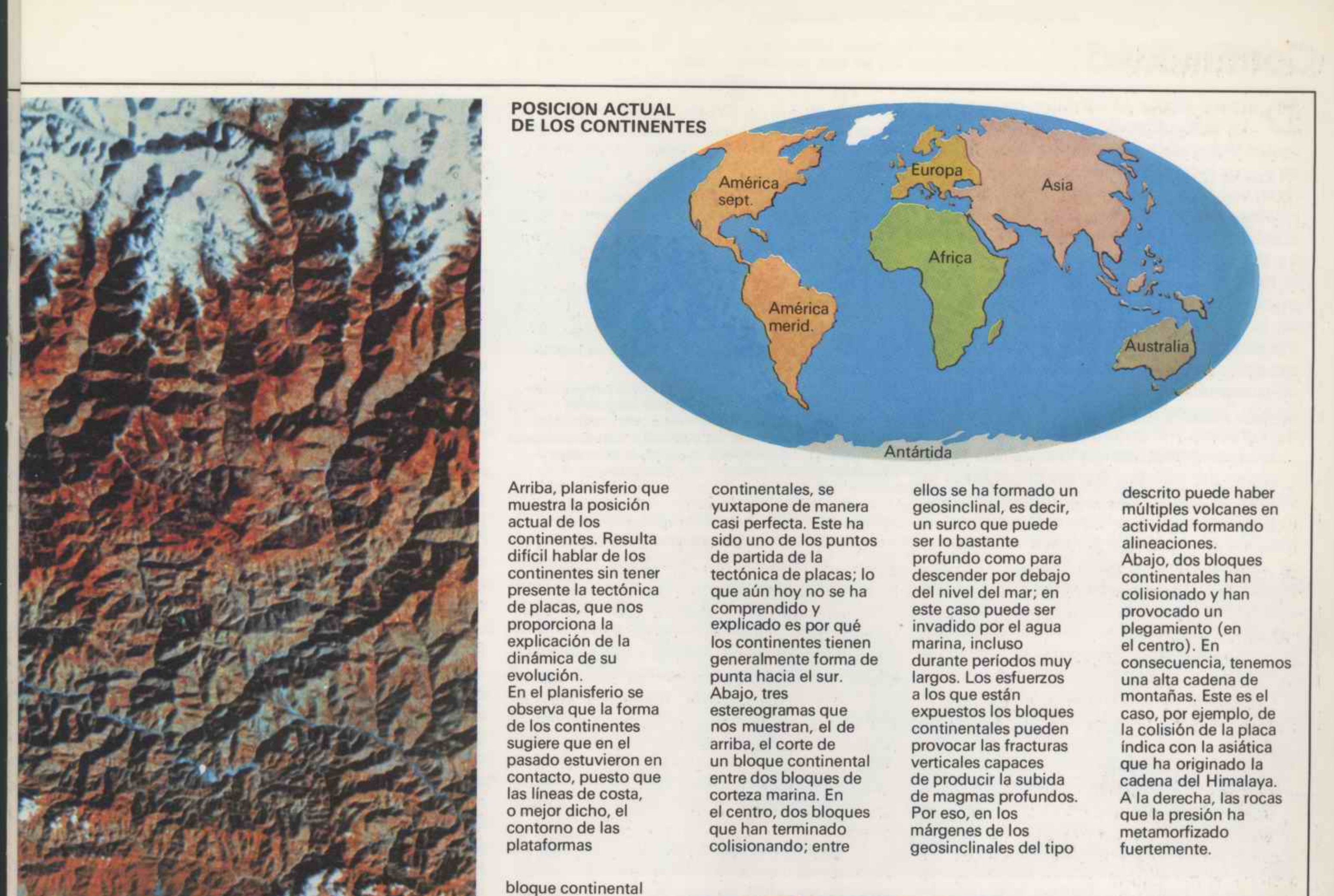
Si esta es la historia del origen de las masas continentales, en el transcurso del tiempo éstas han sufrido profundos cambios, responsables de su aspecto actual. La erosión y la sedimentación han formado nuevas capas de terrenos geológicos; el ascenso de los magmas profundos ha generado nuevos volúmenes de rocas; el agua, en su movimiento a través de las masas rocosas, ha disuelto y redepositado minerales, ha alterado las rocas y ha formado, a veces, yacimientos de minerales útiles. En ocasiones, los empujes horizontales han plegado las capas superficiales y han modificado las rocas; otras veces han levantado las masas continentales y éstas, al quedar más expuestas a la acción de los agentes erosivos, han sido posteriormente destruidas.

Evolución de los escudos Las partes más antiguas de cada continente, conocidas como *escudos*, formaron los núcleos a partir de los cuales han evolucionado las masas más grandes de tierra firme que hoy conocemos. Por ejemplo, el escudo de Norteamérica se remonta a hace más de 2,5 mil millones de años y abarca una franja irregular a lo largo del centro-norte del continente, desde la región occidental de los Grandes Lagos hasta la Bahía de Hudson. Los escudos están formados principalmente por *gneis granítico*, una roca





Arriba podemos observar una espectacular fotografía tomada desde satélite de una masa continental: la cadena del Himalaya. Se pueden apreciar el plegamiento y la erosión característica de la escorrentía de las aguas. Abajo, un perfil hipotético a través de un continente que está delimitado por océanos a derecha e izquierda. Se puede apreciar que en la zona emergida el continente no tiene el mismo nivel en todas partes. En los lugares en los que las rocas son más ligeras parece como si flotasen por encima del substrato profundo y viscoso. En los océanos, la masa continental termina en las plataformas, suaves declives, antes de llegar al abismo.



Arriba, planisferio que muestra la posición actual de los continentes. Resulta difícil hablar de los continentes sin tener presente la tectónica de placas, que nos proporciona la explicación de la dinámica de su evolución.
En el planisferio se observa que la forma de los continentes sugiere que en el pasado estuvieron en contacto, puesto que las líneas de costa, o mejor dicho, el contorno de las plataformas continentales, se yuxtapone de manera casi perfecta. Este ha sido uno de los puntos de partida de la tectónica de placas; lo que aún hoy no se ha comprendido y explicado es por qué los continentes tienen generalmente forma de punta hacia el sur.
Abajo, tres estereogramas que nos muestran, el de arriba, el corte de un bloque continental entre dos bloques de corteza marina. En el centro, dos bloques que han terminado colisionando; entre ellos se ha formado un geosinclinal, es decir, un surco que puede ser lo bastante profundo como para descender por debajo del nivel del mar; en este caso puede ser invadido por el agua marina, incluso durante períodos muy largos. Los esfuerzos a los que están expuestos los bloques continentales pueden provocar las fracturas verticales capaces de producir la subida de magmas profundos. Por eso, en los márgenes de los geosinclinales del tipo descrito puede haber múltiples volcanes en actividad formando alineaciones.
Abajo, dos bloques continentales han colisionado y han provocado un plegamiento (en el centro). En consecuencia, tenemos una alta cadena de montañas. Este es el caso, por ejemplo, de la colisión de la placa índica con la asiática que ha originado la cadena del Himalaya. A la derecha, las rocas que la presión ha metamorfizado fuertemente.

bloque continental
aislado

bloque continental
geosinclinal
bloque continental
fracturas
y ascenso
de magmas
rocas tectonizadas y metamorfizadas
por compresión entre dos bloques continentales

rica en cuarzo. En el transcurso de millones de años, los continentes se ensancharon a partir de estas bases iniciales.

Los geosinclinales Son depresiones de la corteza que se formaron al depositarse los sedimentos durante largos períodos. Con el tiempo, el peso de esos sedimentos terminaría rompiendo la corteza en grietas submarinas en forma de arco, como lo ejemplifica la cadena de las islas Aleutianas, en Alaska. Esos son los primeros estadios del desarrollo continental. En resumen, la lava y los sedimentos se acumularon en cantidad suficiente para ampliar el continente. A continuación, estas rocas quedaron expuestas al calor y a la presión, que generan un *sistema de pliegues* y el *levantamiento* subsiguiente, procesos ambos que dan lugar a la formación de las cadenas montañosas jóvenes. Este desarrollo es característico de las cadenas *orogenéticas*.

Véase **Corteza terrestre; Deriva continental; Fósil y fosilización; Geología; Glaciaciones; Manto terrestre; Paleomagnetismo; Paleontología**

Continuidad

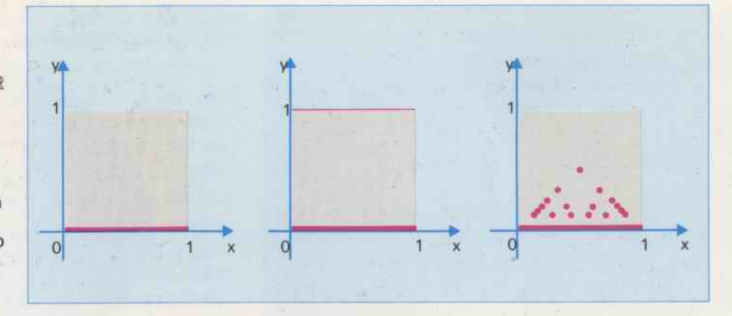
Durante siglos el término *continuidad* ha sido utilizado, en diferentes contextos y por distintos autores, para referirse a propiedades características de la materia, del espacio o del movimiento. La naturaleza *continua* o *discontinua* de la realidad ha sido objeto de constante controversia en la filosofía y en las ciencias de la naturaleza, desde el nacimiento de las mismas hasta la actualidad. Es notorio que en la citada polémica también han intervenido matemáticos y que muchos de sus aspectos han sido evidentemente filosófico-matemáticos; así desde las *aporías* de Zenón, "demostrando" la imposibilidad del movimiento y el continuo, hasta las dificultades interpretativas de la dualidad onda-corpúsculo, muchas de las cuestiones en discusión son mediata o inmediatamente lógico-matemáticas. Sin embargo en la Matemática actual la palabra *continuidad* se usa, con significados muy concretos y *técnicos*, para designar ciertas propiedades de las funciones y carece de especiales connotaciones "físicas" o "metafísicas", sin perjuicio, claro está, de que pueda adquirirlas en las interpretaciones que de sus aplicaciones científicas o técnicas se hagan. Para explicar qué se entiende concretamente por *función continua* debe establecerse primero la clase de funciones con las que se trabaja —reales de variable real, reales de varias variables reales, complejas, etc.— y después el tipo de continuidad de que se trate, bien "en un punto" o "en un conjunto". De un modo muy aproximado e intuitivo, y limitándose al caso de una función real de una variable real, se puede decir que ésta es "continua en un punto" cuando a pequeñas variaciones de la variable alrededor de ese punto corresponden pequeñas variaciones en el valor que toma la función. Generalizando, se considerará "continua en todo un intervalo" si es continua en todos sus puntos. La anterior "definición" se corresponde con la idea, un tanto geométrica, de que una función es continua cuando la curva representativa de la misma no "da saltos".

Durante los siglos XVII y XVIII la idea intuitiva de continuidad es aceptada sin grandes críticas y se asocia con la no menos intuitiva de que es una propiedad que, salvo excepciones, tienen las funciones que vienen dadas por una sola expresión de tipo analítico, válida en todo el campo de la variable independiente, en contra de las dadas de modo empírico, por tablas o por varias expresiones matemáticas. Los cultivadores de la geometría analítica y el cálculo infinitesimal —Descartes, Newton, Leibniz, Euler, los Bernoulli, etc.— suponen no sólo la continuidad, sino la derivabilidad de las funciones que manejan y las discontinuidades aparecen siempre como excepciones.

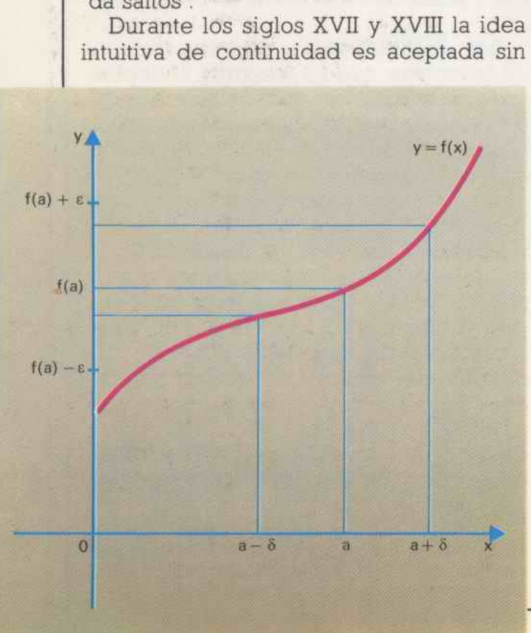
El desarrollo de la teoría —estudio de funciones de varias variables, de funciones de variable compleja, etc.— y de sus aplicaciones a la ciencia y a la técnica, junto a la aparición de problemas y dudas va a ir obligando a precisar el concepto de función y de sus propiedades. Es imposible entrar en el detalle de la historia pero sí de dar alguna idea al respecto. Así a mediados del siglo XVIII D'Alembert y Daniel Bernoulli dan solución al problema de la cuerda vibrante, el segundo de ellos, mediante una suma infinita —técnicamente: una *serie*— de funciones trigonométricas; a partir de ello se observa cómo funciones con discontinuidades o definidas, incluso, por expresiones analíticas diferentes en distintos subintervalos pueden darse, también mediante una serie. Más tarde Fourier, en su libro *Théorie analytique de la chaleur* (1822) consagra definitivamente las series trigonométricas. Dirichlet (1805-1859) por su parte definió funciones discontinuas en todos sus puntos. En pleno siglo XIX el gran Cauchy (1789-1857) precisa los conceptos de función y de continuidad. Define una función real de variable real f como continua en un punto a "si para todo real $\varepsilon > 0$ es posible encontrar un δ real tal que $|x - a| < \delta$ implique $|f(x) - f(a)| < \varepsilon$." Ello, viene a precisar, en el proceso de aritmetización del análisis que se da en el siglo XIX y de la que el propio Cauchy es uno de los grandes artífices, la idea intuitiva apuntada al principio de que "a pequeñas variaciones de la variable independiente le corresponden pequeñas variaciones de la función". Por otra parte se liga la idea de continuidad con la de límite del siguiente modo: "Una función f es continua en un punto a si para ella coinciden el valor de la misma en el punto, f(a), con el límite a que tiende cualquier sucesión de valores $f(x_1)$, $f(x_2)$,... $f(x_n)$,... si x_1, x_2,... x_n,... tiende al punto a "(Definición llamada de Heine).

Las nuevas ampliaciones y complicaciones que traen los últimos tiempos del siglo XIX y primeros del XX hacen que sean necesarias nuevas precisiones. Hoy el concepto de función se define de modo general en el marco conjuntista y el de continuidad en el topológico.

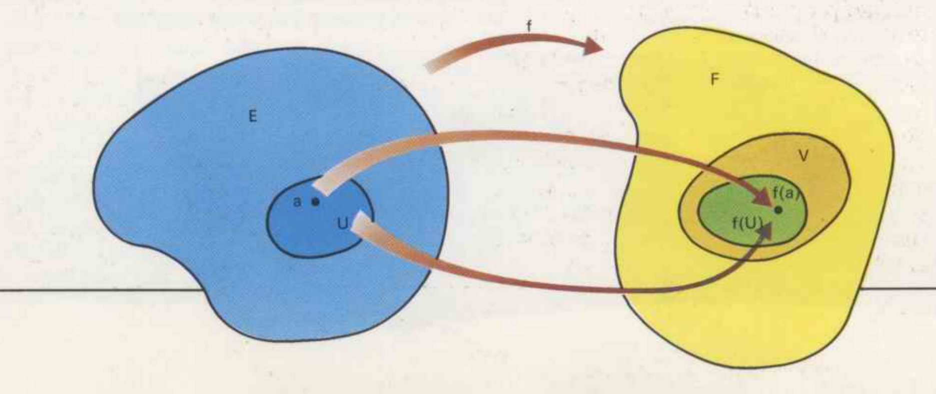
Definición topológica de "continuidad" Si se tiene una función entre dos conjuntos no es posible, en principio, decir si ésta es o no *continua* a menos que, para dichos conjuntos, se haya dado sen-



En la figura se representan tres funciones de [0,1] en ℝ "parecidas" en cuanto a los valores que toman y muy diferentes en cuanto a su continuidad. La primera es la función $f(x) = 0$, para todo x, y es continua en todo el intervalo [0,1]. La segunda toma el valor 0 para x irracional y el 1 para los racionales y es discontinua en todos los puntos (esta función se debe a Dirichlet). La tercera toma también el valor 0 para los irracionales y para los puntos $x = p/q$ (fracción irreducible) el valor $1/q$; es continua en los irracionales y discontinua en los racionales (se llama, a veces, "función de Riemann"). Señalemos, a pesar de la obviedad, que las "gráficas" exactas de las dos últimas funciones son irrepresentables y que los dibujos sólo pretenden ayudar a la imaginación.



En las dos figuras adjuntas se representa gráficamente la continuidad de una función en un punto. A la izquierda, se tiene una función de ℝ en ℝ continua en a porque dado el entorno $(f(a) - \varepsilon, f(a) + \varepsilon)$, con $\varepsilon > 0$ arbitrario, se encuentra el entorno $(a - \delta, a + \delta)$ tal que las imágenes de sus puntos están contenidas en el primero. A la derecha, se da una interpretación gráfica e informal de la definición topológica de continuidad en un punto.



tido a expresiones como "tender al límite", "estar próximo" o "variar continuamente". Precisamente esto último es lo que se pretende cuando se dota a un conjunto de lo que se llama una estructura *topológica*; hay varias formas de conseguirlo, la más general y simple consiste en definir en el conjunto una *topología* o familia de *conjuntos abiertos* o, lo que es equivalente, haber dado para cada punto del mismo la *familia de sus entornos*. Se dice en tales casos que el conjunto es un *espacio topológico*. (Para mayor precisión ver las *voces* que se dan como referencia o, en forma telegráfica, el recuadro adjunto). Sean E y F dos espacios topológicos y sea f una aplicación, o función, de E en F. Se dice que f es continua en el punto a de E si se cumple que para todo entorno V de f(a) en F, existe un entorno U de a en E, tal que su imagen f(U) esté contenida en V.

Cuando f es continua en todos los puntos de un subconjunto C de E se dice que es *continua en C*. Es especialmente interesante el caso en que *f es continua en E* (lo que suele indicarse simplemente diciendo que f *es continua*).

Un teorema fundamental asegura que: "para que la aplicación f de E en F sea continua es necesario y suficiente que todo abierto de F tenga por imagen recíproca un abierto de E". Conviene señalar que no es, sin embargo, necesario que los abiertos de E tengan por imágenes abiertos de F. (Se recuerda que la imagen de un punto *a* de E es el valor que le hace corresponder la función f(a); que la imagen recíproca de un punto *b* de F es el conjunto de puntos de E —no necesariamente uno solo— que f transforma en b y se representa $f^{-1}(b)$; por último las imágenes, directa o recíproca, de conjuntos de E y F son simplemente los conjuntos que resultan de unir todas las imágenes de sus puntos). Cuando se tienen tres espacios topológicos, E, F y G y dos aplicaciones continuas, f de E en F y g de F en G, resulta que también lo es el producto $g \cdot f$ de E en G.

Si en vez de tratar con espacios topológicos generales se estudia el caso de espacios métricos se produce una simplificación que se aproxima a la definición de continuidad de Cauchy. En efecto: si E y F son métricos, los entornos pueden considerarse esféricos; por ejemplo, el entorno U del punto *a* puede tomarse, como la *bola abierta* de centro *a* y radio δ; o sea como el conjunto de puntos *x* de E que cumplen $d(x, a) < \delta$ (siendo *d* la distancia definida en E). Entonces la continuidad de f en el punto *a* queda dada por la siguiente propiedad: "Para todo $\varepsilon > 0$ existe un δ tal que $d(x, a) < \delta$ implica que $d(f(x), f(a)) < \varepsilon$" (señalemos que la definición que sustituye el signo "menor" por el "menor o igual" es equivalente y corresponde a utilizar *bolas cerradas* en vez de abiertas). Naturalmente, cuando se estudia la continuidad de funciones definidas en $\mathbb{R}$ o $\mathbb{C}$ se reencuentra la definición de Cauchy al sustituir la distancia general *d* por el valor absoluto o módulo de la diferencia.

Por otra parte conviene señalar que existe una estrecha relación entre los conceptos de *continuidad* y de *límite*. En efecto: si f es una función de E en F, ambos topológicos, y el punto *a* pertenece a A, una de las partes de E, se dice que "f(x) tiende a *l*, cuando *x* tiende a *a*, tomando valores en A" y se escribe

$$\lim_{\substack{x \to a \\ x \in A}} f(x) = l$$

cuando para todo entorno V de *l* en F existe un entorno U de a en E tal que $f(U \cap A)$ está contenido en V (naturalmente, si A = E resulta $U \cap E = U$ y huelgan las alusiones a A en la definición y en la notación). Lo que significa que los puntos *x* de un entorno de *a* tienen sus imágenes f(x) en el entorno de *l*, por reducido que sea éste.

De ello resulta inmediatamente que una función es continua en un punto *a* si y sólo si el límite de f(x), cuando x tiende a *a*, es *l*.

Se reencuentra así, en el caso de que se particularice al caso de funciones reales de variable real, la clásica definición de continuidad de Heine.

Homeomorfismo Un caso especialmente importante de función continua es el de los *homeomorfismos*. Se dice que E y F, espacios topológicos, son *homeomorfos* cuando existe una función f de E en F que es, a la vez, *biyectiva* y *bicontinua* (*es decir: que f es una biyección* —correspondencia biunívoca que no deja en E y F elementos sin homólogos— tal que ella y su recíproca, f^{-1}, son continuas ambas). A f se le llama *homeomorfismo*. La relación de "ser *homeomorfos*" entre conjuntos es una relación de equivalencia, ya que es reflexiva, simétrica y transitiva (lo primero porque la identidad es un homeomorfismo, lo segundo porque si f es homeomorfismo también lo es f^{-1}, lo último porque el producto de biyecciones bicontinuas es una biyección bicontinua). Esta equivalencia ocupa un papel fundamental en topología. Dos espacios homeomorfos son tales que existe entre ellos una función que hace corresponder uno a uno los elementos de ambos y también los conjuntos abiertos que definen las respectivas estructuras topológicas (al ser continuas f y f^{-1} las imágenes de los abiertos de un espacio son abiertos en el otro), de modo que, si sólo se atiende a ellas, los dos espacios son indistinguibles. Ello se resume diciendo a veces que la topología no distingue entre dos objetos cuando se puede transformar uno en otro mediante una transformación biunívoca y bicontinua.

Conviene señalar, por último, que el término "continua" entra en expresiones como "uniformemente continua" que se refiere a funciones que gozan de propiedades más particulares y específicas que la de *continuidad*.

Véase **Continuo matemático; Convergencia; Espacios métricos y topológicos; Función matemática; Topología**

ALGUNAS NOCIONES DE TOPOLOGIA

A un conjunto no vacío, E, al que se ha dotado de una aplicación d, llamada *distancia* o *métrica*, de E × E en $\mathbb{R}_+$ (reales no negativos) con las tres propiedades siguientes:

- M1. $d(x,y) = 0$ si y sólo si $x = y$
- M2. $d(x,y) = d(y,x)$ para todo x,y de E
- M3. $d(x,y) \leq d(x,z) + d(z,y)$ para todo x, y, z de E

se le llama *espacio métrico*. Los conjuntos de los números reales y complejos, $\mathbb{R}$ y $\mathbb{C}$, pueden considerarse espacios métricos para diferentes distancias o métricas; entre ellas la más inmediata y usual es $d(x,y) = |x - y|$.

En los espacios métricos se definen diferentes subconjuntos. Los más simples son las *bolas abiertas* y *cerradas* de centro un punto *a* del espacio y radio un número real $r > 0$, que son los conjuntos de puntos x que cumplen $d(x,a) < r$ ó $d(x,a) \leq r$ respectivamente. También se definen los llamados *conjuntos abiertos* que son, simplemente, uniones (finitas o no) de bolas abiertas y que cumplen tres propiedades básicas.

- A1. El conjunto vacío $\varnothing$ y E son *abiertos*
- A2. La intersección finita de *abiertos* es *abierta*
- A3. La unión (finita o no) de *abiertos* es *abierta*

Se llama *conjunto cerrado* al complementario de uno abierto.

Por último, se dice que U es un *entorno* del punto x si U contiene un abierto al que pertenece x. Los entornos de x forman una familia de conjuntos que cumple las propiedades:

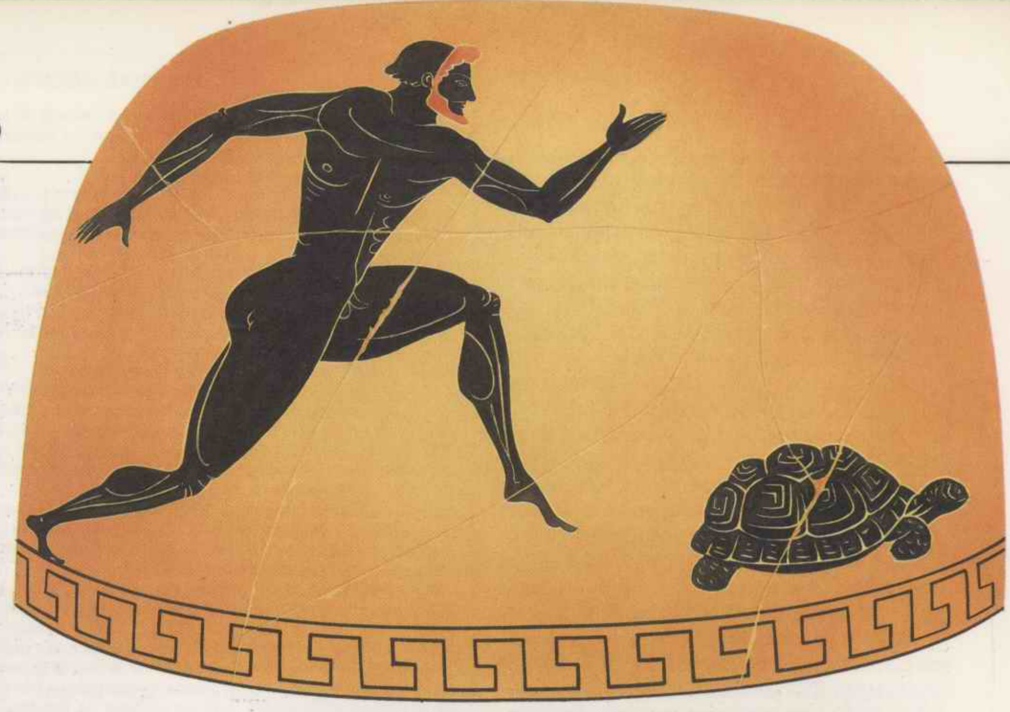
- E1. Todo entorno de *x* contiene a *x*
- E2. Todo conjunto A que contiene a un entorno de x es un entorno de x
- E3. La intersección finita de entornos de x es un entorno de x
- E4. Para todo entorno U de x existe un entorno V de x contenido en U y tal que éste es entorno de todos los puntos de V.

Un espacio métrico es un ejemplo de conjunto con una estructura topológica muy particular, en el que gracias a ella pueden darse sentido expresiones como "estar próximo" o "tender a un límite". Es posible, sin embargo, definir directamente una familia de *abiertos* (llamada también una *topología*) o un sistema de *entornos* de cada uno de sus puntos sin relación con ninguna definición de distancia. Precisamente se llama *espacio topológico* a un conjunto no vacío dotado de una familia de sus subconjuntos, llamados *abiertos*, que cumplen las propiedades A1, A2 y A3 o, lo que es equivalente, con un sistema de familias de *entornos* que cumplan E1, E2, E3 y E4.

PROPIEDADES DE LA FAMILIA DE ENTORNOS DE x

E.1: U, x, V, W
E.2: A, U, x
E.3: U, U∩V, x, V
E.4: U, V, x, y

Continuo matemático



Zenón de Elea (*ca.* 490-430 a. de C.) era discípulo de Parménides y, en apoyo de la tesis de su maestro ("sólo es el ser") y en contra de la de Heráclito ("todo fluye"), ideó las "aporías" que mostraban la imposibilidad del cambio y del movimiento. Según él, el rápido Aquiles nunca alcanzaría a la lenta tortuga si ésta partía con una ventaja inicial, porque mientras aquél recorriese la misma, la tortuga habría andado otra distancia, por pequeña que fuera, y así sucesivamente. El argumento ha servido más para combatir la posibilidad del "continuo" y del "infinito" que la del propio movimiento. A lo largo de la historia se han sucedido las réplicas matemáticas y filosóficas a Zenón con variado éxito.

Lo *continuo* se opone a lo *discontinuo* o, mejor, a lo *discreto*. Se consideran continuos la recta y sus segmentos o se dice de un punto móvil que recorre su trayectoria *continuamente*. Un cuerpo sólido "parece" continuo y un montón de arena discreto. Si se tratase únicamente del lenguaje cotidiano, tales vaguedades podrían servir; al ser el de *continuo* un concepto importante en distintos campos del pensamiento y de la técnica se comprenderá que, por el contrario, haya suscitado múltiples intentos en búsqueda de mayor precisión.

Entre los filósofos se han ocupado de la cuestión del continuo, ligada a otras no menos complejas como la del infinito, por ejemplo Aristóteles, Leibniz y Kant.

Por otra parte, la pregunta sobre si la materia y la energía son continuas o discontinuas es una de las fundamentales de la Física. Desde Demócrito a Planck los "discontinuistas" han ganado batallas sin conseguir nunca la victoria final; las actuales concepciones físicas ponen en tela de juicio las visiones elementales e intuitivas de las viejas partículas (discontinuas), y ondas (continuas) mostrando ambas como interpretaciones simples y límites de fenómenos reales esquivos y modelizados toscamente en ecuaciones, sin embargo sumamente complicadas.

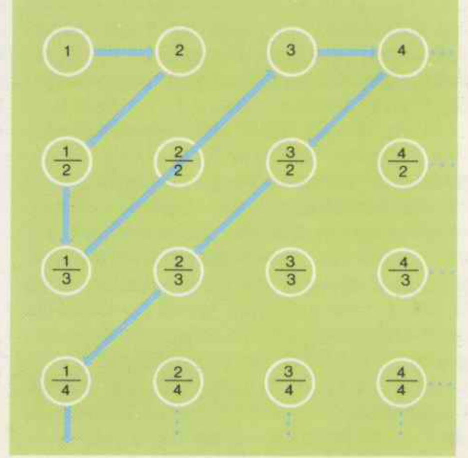
El propio concepto filosófico-matemático de *continuo* resulta un tanto difícil. Zenón de Elea (*ca.* 490-430 a. de C.) "demostró" su imposibilidad con sus famosas *aporías* —Aquiles nunca alcanzando a la tortuga o la flecha nunca llegando al blanco— y, desde entonces, filósofos y matemáticos han tratado de rebatir sus argumentos sólo con limitado éxito.

Ciñéndonos al terreno estrictamente matemático y tras varios siglos de trabajos "modernos" sobre números y funciones no hay excesiva claridad en torno a lo que sea el *continuo*. Por ejemplo aún se oye repetir la afirmación errónea, cuyo origen se remonta al propio Leibniz, caracterizando un conjunto continuo de números (o puntos) por la propiedad de que entre dos cualesquiera de ellos existen tantos más como se quiera. Esta propiedad la posee evidentemente el conjunto de los números racionales $\mathbb{Q}$ que, por las razones que se comprenderán más adelante, no conviene considerar como continuo. Para resumir con una afirmación concreta y clara diremos que la matemática actual considera *continuos* el conjunto de los números reales $\mathbb{R}$, los de los pares, $\mathbb{R}^2$, y *n-tuplas*, $\mathbb{R}^n$, de reales, así como sus equivalentes geométricos, la recta, el plano y el hiperespacio *n*-dimensional, entre otros conjuntos aún más complicados. En realidad también se consideran *continuos* conjuntos más sencillos como los intervalos (0, 1) y [0, 1]. Sin embargo, no se considera *continuo* el conjunto de los números racionales $\mathbb{Q}$.

La potencia del continuo Dos conjuntos son *equipotentes*, o tienen igual *potencia* o *cardinal*, cuando puede definirse entre ellos una biyección. Si los conjuntos son *finitos* (llamados a veces *numerables finitos*) el cardinal puede identificarse con el número de elementos. Sin embargo, si se trata de conjuntos *infinitos* la cuestión se complica; los cardinales de dichos conjuntos se denominan *cardinales transfinitos* y el principal problema, desde Cantor, consiste en distinguir los de unos y otros conjuntos y ordenarlos de menor a mayor.

El más sencillo de los conjuntos infinitos es el de los números naturales, $\mathbb{N}$. A todos los que son equipotentes con él se les denomina *numerables* (o *infinitos numerables*). Hay infinitos numerables que tienen "menos" elementos que $\mathbb{N}$; por ejemplo, el de los números pares o el de los múltiplos de diez. Para comprenderlo basta recordar que un conjunto es infinito cuando tiene subconjuntos propios con su misma potencia; por otra parte, es trivial encontrar biyecciones que ponen de manifiesto la equipotencia. Pero, también, hay conjuntos numerables que son "mayores" que $\mathbb{N}$. Por ejemplo el de los enteros $\mathbb{Z}$ y, lo que parece extraño, el de todos los racionales $\mathbb{Q}$. Encontrar una biyección para el primer caso es bien simple (por ejemplo los enteros positivos se ponen en correspondencia con los pares, y los negativos con los impares). Para probar que $\mathbb{Q}$ es numerable hay que recurrir al ingeniosísimo método "de la diagonal" de Cantor. Consiste, brevemente, en ordenar los números racionales en una tabla de doble entrada (en la misma fila los de igual numerador y en idéntica columna los de denominadores coincidentes) y, seguidamente, numerar los elementos de la tabla por diagonales.

Sin embargo no es posible poner en correspondencia biunívoca con $\mathbb{N}$ otros conjuntos. Por ejemplo, y con ello retomamos el tema del *continuo*, el conjunto de los números reales del intervalo (0, 1) del que decimos tiene la *potencia del continuo*. Para probarlo puede recurrirse a un método "de reducción al absurdo" que, salvo algunas precisiones de rigor apuntamos a continuación. En efecto: imaginemos que hubiera sido posible poner en correspondencia biunívoca todos los números reales con los naturales ordenándolos en una lista indefinida y que cada uno de ellos estuviera dado por su desarrollo decimal ilimitado. Pues bien, sería entonces posible encontrar nuevos números



En la figura se representa el método "de la diagonal" de Cantor. Todos los números racionales positivos se disponen en una tabla de doble entrada y, a continuación, se numeran diagonales en la forma que señala la flecha (saltándose las fracciones que representan racionales ya numerados, por ejemplo $\frac{2}{2} = 1$). Numerar los racionales positivos y negativos es fácil haciendo, por ejemplo, corresponder a los primeros los naturales pares y a los segundos los impares.

reales del intervalo distintos de los que se tienen ordenados, contradiciendo la hipótesis de partida (que afirmaba que se tenían todos en correspondencia con $\mathbb{N}$). Un nuevo número se obtendría, por ejemplo, del siguiente modo: su primera cifra sería una cualquiera distinta de cero, de nueve y de la primera cifra del primer número de la lista, su segunda cifra una distinta de cero, de nueve y de la segunda del segundo, y así sucesivamente. Evidentemente dicho número no puede coincidir con ninguno de los de la lista porque, al menos, difiere en una cifra con cada uno de ellos.

Puede incluso demostrarse que la potencia del continuo es la misma que la de $\mathcal{P}(\mathbb{N})$, conjunto de las partes de $\mathbb{N}$; y ello de diferentes formas; una directa es la que se apunta seguidamente. Cada número real del intervalo unidad puede ponerse en correspondencia biunívoca con una sucesión infinita de "unos" y "ceros" por el procedimiento de representarle como fracción binaria; por otra parte cualquiera de los elementos de $\mathcal{P}(\mathbb{N})$ no es sino uno de los subconjuntos de $\mathbb{N}$ y puede hacérsele corresponder una sucesión de "unos" y "ceros" según que entre sus elementos estén o no los sucesivos números naturales —por ejemplo al subconjunto $\{1, 3, 4\}$ le correspondería la sucesión infinita (1, 0, 1, 1, 0, ..., 0, ...)—. Es fácil, ahora, precisando la argumentación matemática, probar que los números reales del intervalo unidad, las sucesiones infinitas de "unos" y "ceros" y $\mathcal{P}(\mathbb{N})$ tienen la misma potencia. No es difícil, por otra parte, ver que cualquier segmento abierto o cerrado de la recta real tiene igual potencia que el segmento unidad y que ésta es la misma que la del propio $\mathbb{R}$. Para ello basta tomar entre las infinitas biyecciones posibles entre (0, 1) y (a, b), con *a* y *b* reales cualesquiera, la más simple: $f(x) = a + (b-a)x$. Igualmente se encuentran fácilmente funciones que transforman unívocamente (0, 1) en la totalidad del campo real; un ejemplo inmediato es:

$$f(x) = \operatorname{tg} \pi\left(x - \frac{1}{2}\right)$$

El detalle, más bien técnico, de la equipotencia entre (0, 1) y [0, 1], por otra parte bastante intuitivo, se deduce de un teorema (el de Cantor-Bernstein) que asegura que si se cumple que $A \subset B \subset C$ y que A y C son equipotentes también lo son A y B (en nuestro caso (0, 1), [0, 1] y $\mathbb{R}$ cumplen los respectivos papeles de A, B y C).

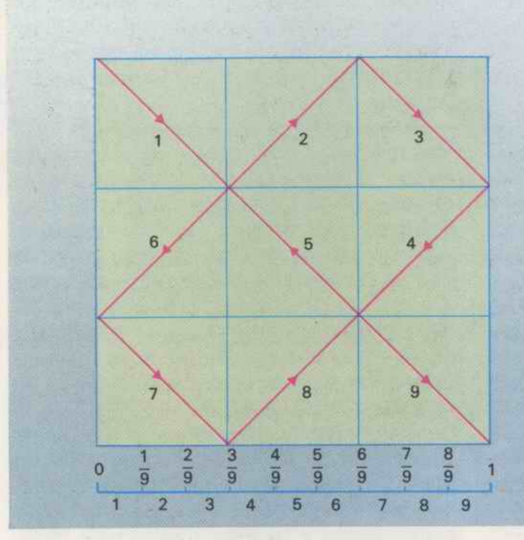
Es más; el conjunto de los números complejos, el plano euclídeo y $\mathbb{R}^2$ también tienen la potencia del continuo. Incluso $\mathbb{R}^n$ y el producto cartesiano de $\mathbb{R}$ por sí mismo un infinito numerable de veces tienen la misma potencia. Dichos asertos se demuestran con relativa facilidad utilizando los recursos de la teoría de cardinales. Sin embargo, son también posibles demostraciones directas; por ejemplo, a los puntos del cuadrado $(0, 1) \times (0, 1)$ se les puede poner en correspondencia biunívoca con los del intervalo (0, 1) en la siguiente forma: si los desarrollos decimales de las coordenadas *x* e *y* son, respectivamente $0, a_1 a_2 a_3 ...$ y $0, b_1 b_2 b_3 ...$ el del punto del intervalo correspondiente es $0, a_1 b_1 a_2 b_2 ...$ (no es difícil precisar los detalles de la demostración, en particular el carácter biunívoco de la correspondencia). Resulta interesante señalar que cuando el propio Cantor obtuvo, hace algo más de un siglo, el resultado anterior se inquietó vivamente.

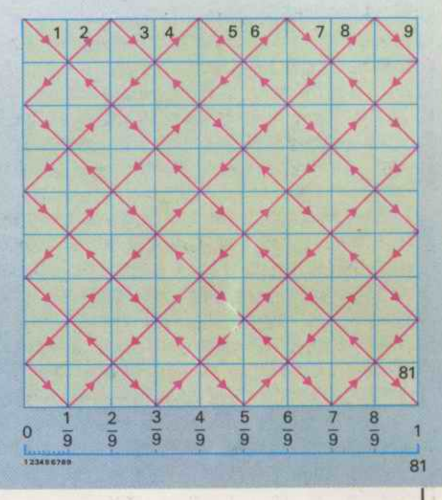
La teoría de los cardinales *transfinitos*, creada por Cantor, atribuye uno de éstos a cada clase de conjuntos infinitos equipotentes. Dichos cardinales se designan por la primera letra del alfabeto hebreo, $\aleph$ (*alef*), con una subíndice: $\aleph_0$ para el cardinal de los conjuntos numerables, $\aleph_1$ para la potencia del continuo y así sucesivamente.

La "hipótesis del continuo" Resulta inmediato formular una duda ¿existirá un cardinal entre $\aleph_0$ y $\aleph_1$? o, en otros términos ¿habrá un conjunto que tenga una potencia intermedia entre la de $\mathbb{N}$ y la de $\mathcal{P}(\mathbb{N})$? Cantor conjeturó que no. Dicha hipótesis —conocida como la *hipótesis del continuo*— ha ocupado a muchos matemáticos durante décadas, hasta que los trabajos de Gödel, en 1940, y Cohen en 1963 demostraron que la misma no puede probarse en el sistema formal constituido a partir de los axiomas de la Teoría Clásica de conjuntos (en términos más técnicos: la *hipótesis del continuo* es una proposición *indecidible* en dicho sistema). Por tanto puede aceptarse como un axioma adicional.

En realidad los resultados de Gödel y Cohen son más fuertes y afirman que la *hipótesis generalizada del continuo* y el *axioma de libre elección*, junto con los axiomas de la teoría clásica, dan lugar a un sistema consistente (que es el generalmente aceptado), pero que podría, igualmente, prescindirse de ellos o construir sistemas que incluyeran su negación.

Aclaremos que se denomina *hipótesis generalizada del continuo* al enunciado siguiente: "No existe ningún cardinal entre $\aleph_n$ y $\aleph_{n+1} = 2^{\aleph_n}$, con n = 0, 1, 2,..." (como es usual, 2^c indica el cardinal del conjunto de las partes de un conjunto cuyo cardinal es c). Por otra parte el *axioma de libre elección* de Zermelo postula que "para todo conjunto existe una función de elección" (se llama así a aquella que atribuye a cada parte no vacía del conjunto un elemento de la misma). Dicho axioma tiene una gran utilidad, a pesar de su carácter controvertido, en numerosos capítulos de la matemática actual; entre las formulaciones equivalentes al mismo destaca la siguiente: "A todo conjunto puede dársele una buena ordenación" (una *buena ordenación* es la dada a un conjunto cuando cualquiera de sus partes no vacías tiene primer elemento).





Cantor, en 1877, probó que el segmento unidad y el cuadrado unidad tienen la misma potencia. Tal resultado le conmocionó y así se lo escribió a Dedekind. Poco más tarde, en 1890, Peano obtuvo un resultado aún más sorprendente: una curva, imagen continua del segmento [0,1], que "llenaba" todo el cuadrado [0,1] × [0,1]. En la figura se apunta el método de Sierpinski para "construir la curva de Peano" como *límite* de una sucesión de aproximaciones que *tienden* a "llenar" el cuadrado, mostrando las dos primeras; la de la izquierda formada por 9 diagonales, la segunda por 81. Hoy la curva de Peano es un caso particular de lo que, en Topología, se llaman "espacios de Peano" o "*continuos* de Peano" que, en breve, se caracterizan precisamente por ser imágenes continuas de [0,1]. En otro orden diferente, la curva de Peano es un ejemplo de los objetos que trata la geometría de los *fractales*, ideada por Mandelbrot para estudiar configuraciones complejas e irregulares que se presentan en la Naturaleza

Véase **Conjuntos, teoría de; Continuidad; Infinito matemático; Lógica matemática; Relación de orden**

Contraste de hipótesis

El *contraste* o *test de hipótesis* es uno de los métodos básicos de la inferencia estadística. Es, como otras técnicas de la Estadística Matemática, relativamente reciente y su desarrollo es obra de estadísticos contemporáneos como Fisher, su iniciador, y Neyman y Pearson, que le dieron fundamento, entre otros.

Consiste básicamente en lo siguiente: en primer lugar se tiene un *universo* o *población* de la que se desconoce exactamente su distribución o alguno de los parámetros característicos de la misma, pero sobre la que —por consideraciones apriorísticas, estimación u otros medios— se ha hecho una cierta hipótesis estadística (que se distribuye *normalmente* o que su media tiene un cierto valor, por ejemplo) y de la que se pueden tomar muestras. Por otra parte, se elige una medida, D, de las discrepancias —en términos técnicos un *estadístico*— entre los valores esperados, caso de que fuera cierta la hipótesis, y los obtenidos en las muestras posibles y, dado el carácter aleatorio del mismo, se determina su *distribución probabilística*; se fija una pequeña probabilidad, llamada *nivel de significación* y denotada usualmente como α; y se calcula el valor del *estadístico* que corresponde a dicha probabilidad. Por último, se acepta o rechaza la hipótesis si la muestra realmente obtenida conduce a un valor del citado *estadístico* menor o mayor, respectivamente, que el correspondiente al nivel de significación.

Como se comprende fácilmente, el método tiene aspectos claramente matemáticos —la determinación de la distribución del *estadístico* por ejemplo— pero presenta también componentes arbitrarios, como la propia elección de la medida de las discrepancias o el *nivel de significación*. Ello es, por otra parte, típico de los métodos estadísticos, en los que lo matemático, lo empírico y lo puramente heurístico se entremezclan de una forma peculiar, en la que radica, precisamente su interés científico y su utilidad práctica. De todos modos, existen teorías como la de Neyman-Pearson, que se apunta más adelante, que permiten racionalizar los mencionados componentes heurísticos.

La anterior descripción tiene un sabor un tanto escolar y no hace sospechar la variedad de los casos reales, que —en Medicina, Ingeniería, Economía, Ciencias humanas, etc.— pueden ser abordados por esta técnica. Por otra parte, el aspecto inicial de la cuestión puede no tener como es lógico, una presentación tan formal como es la de contrastar una hipótesis sobre una característica estadística, sino plantear preguntas de naturaleza tan práctica como alguna de las siguientes.

—Un médico cuenta con una serie de análisis sobre un paciente y tiene que decidir si diagnostica la enfermedad A o la B.

—En un hospital, en el tratamiento de una cierta enfermedad han utilizado con dos grupos de enfermos dos drogas distintas, y quieren, a partir de los resultados, decidir cual es más efectiva.

—Un fabricante de un cierto producto quiere elegir entre dos sistemas de fabricación, con costes y dificultades técnicas equivalentes, el que conduce a que dicho producto tenga una mayor duración.

Algunos conceptos básicos Se dice que la hipótesis es *simple* cuando lo que se conjetura es que el valor del parámetro o característica en estudio se reduce a un solo valor; por ejemplo, es simple la hipótesis de que la media de una cierta población *normal* sea cero. Se llaman hipótesis *compuestas* las que no son *simples*. Cuando se trata de contrastar una cierta hipótesis, usualmente designada por H_o y llamada la *hipótesis nula*, no sólo hay que considerarla a ella misma sino también a su *hipótesis alternativa*, denotada como H_1 y correspondiente a los valores de las características en estudio que forman el conjunto complementario del considerado en H_o. Cabe, por comodidad, utilizar las letras H_o y H_1 para designar tanto las propias hipótesis como los conjuntos de puntos que en el *espacio paramétrico* —en el que se representan los distintos valores, θ, de las características— les corresponde; así puede ponerse también $H_1 = H'_o$ (complementario de Ho). Suele considerarse, siguiendo la nomenclatura de Neyman y Pearson, que los errores del contraste pueden ser de dos clases: el del tipo I, cometido al rechazar la hipótesis cuando es verdadera, y el del tipo II cometido al aceptarla siendo falsa.

El *test* puede, en términos un tanto "geométricos", visualizarse de la siguiente forma: si la muestra que realmente se obtiene de la población pertenece a un subconjunto S_o del *espacio muestral —parte del espacio n*-dimensional en la que se representan las posibles muestras $X = (x_1, ... x_n)$— se acepta la hipótesis H_o (es decir se toma como bueno que $\theta \in H_o$) en el *espacio paramétrico*; si la muestra pertenece al complementario $S_1 = S'_o$ se rechaza. Consecuentemente, S_1 y S_o son denominados *región crítica* y *región de aceptación* de H_o. Como es obvio, la forma y tamaño de la región crítica dependen del estadístico elegido, del nivel de significación y de los criterios para reducir los errores, pero también de las simplificaciones y técnicas "ad hoc" que, para facilitar los cálculos y hacer manejable el propio *test*, se introducen en el proceso de su creación.

No siempre es posible alcanzar el objetivo deseable de que un *test* produzca errores mínimos de I y II tipo simultáneamente. Por eso la teoría de Neyman-Pearson procede del siguiente modo. Se define primeramente una función, llamada *potencia del test*, $p(\theta)$, en el *espacio paramétrico* como:

$$p(\theta) = \text{probabilidad } (X \in S_1/\theta)$$

Cuyo significado es que $p(\theta)$ vale la probabilidad de rechazar H_o cuando el parámetro vale θ. Luego se limita por el *nivel de significación* α el error de primer tipo haciendo:

$$\sup p(\theta) \leq \alpha \qquad \theta \in H_o$$

Normalmente α se toma como 0,05 , 0,01 ó 0,005 (los resultados correspondientes se califican de *casi significativos, significativos* o *muy significativos*). Por fin, entre los *test* que tienen el mismo nivel de significación se buscan los que hacen máxima la potencia $p(\theta)$, con $\theta \in H_1$, es decir los que maximizan la probabilidad de rechazar H_o cuando es falsa, o, lo que es equivalente, los que minimizan la probabilidad de error de segundo tipo (aceptar H_o si es falsa) que es su complemento a la unidad.

Si se tienen dos *test* para contrastar la misma hipótesis, ambos con el mismo nivel de significación α, se dice que el que viene dado por la región crítica S_1^i es *uniformente más potente* que el definido por la región crítica S_1^j si se cumple

$$p(X \in S_1^i/\theta) \leq p(X \in S_1^j/\theta) \quad \text{si} \quad \theta \in H_o$$
$$p(X \in S_1^i/\theta) > p(X \in S_1^j/\theta) \quad \text{si} \quad \theta \in H_1$$

Si lo anterior se cumple con S_1^i fijo para cualquier S_1^j se dice que el *test* es *uniformemente de máxima potencia*.

A veces conviene utilizar lo que se llaman test *aleatorizados* (o *randomizados* si se admite el anglicismo). En ellos se introduce un factor de azar en la decisión de aceptar o rechazar H_o cuando la muestra *X* pertenece a las distintas regiones del espacio muestral H_o; y ello a través de una función $\phi(x)$ que da la probabilidad de rechazar $\theta \in H_o$. Los *test* ordinarios o no aleatorizados son así el caso particular correspondiente a que $\phi(x)$ valga

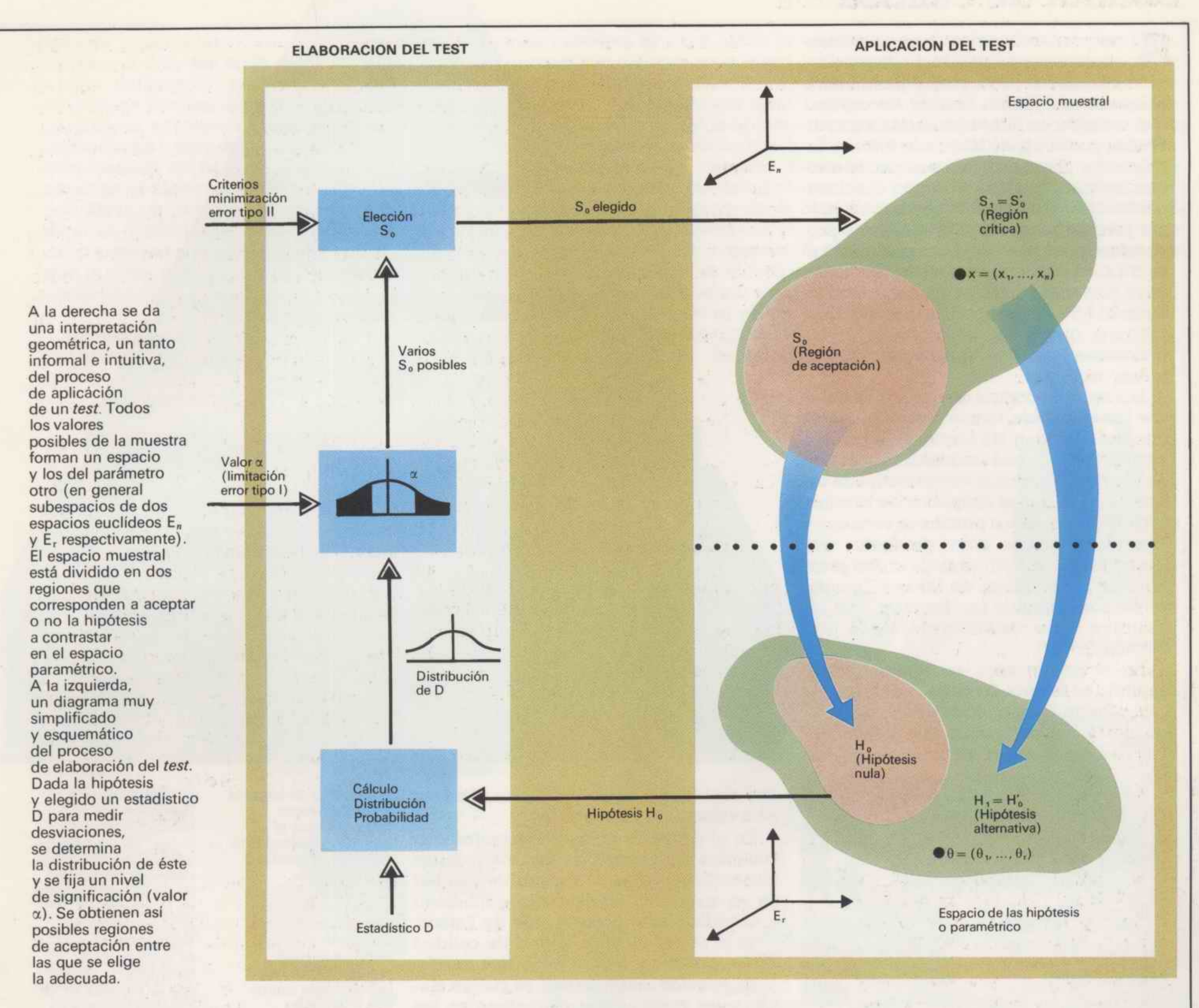
$$\phi(X) = 1 \quad \text{si} \quad X \in S_1$$
$$\phi(X) = 0 \quad \text{si} \quad X \in S_o$$

Para los *test* aleatorizados la expresión analítica de la función de potencia es más complicada —la media de ϕ ponderada por la distribución de probabilidad de *X* condicionada a θ— pero su sentido y las consideraciones que pueden hacerse en torno al nivel de significación, los errores, etc. son los mismos que para los *test* ordinarios.

Un punto que conviene señalar es el de la relación entre el contraste de hipótesis y la estimación por *intervalos de confianza* y la posibilidad de utilizar éstos últimos para la confección de *test*. En la Teoría de la estimación estadística se obtiene un *intervalo de confianza* para un cierto parámetro θ de una distribución de probabilidad cuando se han determinado dos funciones de la muestra $F_1(x_1, x_2, ..., x_n)$ y $F_2(x_1, x_2, ..., x_n)$ tales que puede asegurarse que el valor desconocido de θ está comprendido en el intervalo que definen las mismas con una probabilidad alta, llamada *coeficiente de confianza* y denotada $1-\alpha$. Matemáticamente:

$$\text{Prob}\,[F_1(x_1, ..., x_n) \leq \theta \leq F_2(x_1, ..., x_n)] \leq 1-\alpha$$

Basta un cambio terminológico para poder utilizar el intervalo de confianza como base de un *test*. En efecto: bastará decir que si para la muestra realmente obtenida $X = (x_1, ..., x_n)$ el valor (o valores) pronosticados por H_o no es cubierto por el in-



A la derecha se da una interpretación geométrica, un tanto informal e intuitiva, del proceso de aplicación de un *test*. Todos los valores posibles de la muestra forman un espacio y los del parámetro otro (en general subespacios de dos espacios euclídeos E_n y E_r respectivamente). El espacio muestral está dividido en dos regiones que corresponden a aceptar o no la hipótesis a contrastar en el espacio paramétrico. A la izquierda, un diagrama muy simplificado y esquemático del proceso de elaboración del *test*. Dada la hipótesis y elegido un estadístico D para medir desviaciones, se determina la distribución de éste y se fija un nivel de significación (valor α). Se obtienen así posibles regiones de aceptación entre las que se elige la adecuada.

tervalo $[(F_1(x_1, ..., x_n), F_2(x_1, ..., x_n)]$ hay que rechazar la hipótesis con el nivel de significación α.

Ejemplos No es posible, en forma breve y simple, dar la larga serie de teoremas y procedimientos prácticos que permiten confeccionar, a partir de las ideas que se acaban de bosquejar, distintos tipos de *test*. Ni siquiera dar una lista algo significativa de los más usuales. Sin embargo, y a título de ejemplo, pueden verse algunos muy clásicos.

Uno de los más sencillos es el que sirve para contrastar si una población que se sabe *normal*, pero de la que se desconocen su media y su desviación típica, la primera de ellas valga precisamente μ, tomando una muestra $(x_1, ..., x_n)$ de tamaño *n*. El *test* resultante se obtiene calculando el valor

$$D = \frac{\bar{x} - \mu}{s}\sqrt{n-1}$$

donde $\bar{x}$ y s son la media y la desviación de la muestra, es decir:

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{1}^{n} x_i \qquad s^2 = \frac{1}{n}\sum_{1}^{n}(x_i - \bar{x})^2$$

y determinando, dado α, el par de números $-t_\alpha$ y t_α que le corresponden en una tabla de la distribución *t de Student con n-1 grados de libertad*. Si el valor de D cae en el intervalo $(-t_\alpha, t_\alpha)$ se acepta la hipótesis con el nivel de significación α, en caso contrario se rechaza.

Otro *test* clásico se refiere a la hipótesis simple de determinar la distribución discreta de probabilidad: $p_1, p_2, ... p_m$ (p_i representa la probabilidad del suceso A_i; obviamente: $0 \leq p_i \leq 1$ y $\Sigma p_i = 1$) La hipótesis en este caso conjetura que $p_i = a_i$, $i = 1, ... m$, y el *test* es el siguiente: se calcula la expresión:

$$D = \sum_{1}^{m} \frac{(n_i - na_i)^2}{na_i}$$

en la que n es el tamaño de la muestra y n_i la frecuencia con que se ha obtenido A_i (naturalmente: $\Sigma n_i = n$); se determina el valor χ^2_α, correspondiente al nivel de significación α, en las tablas de la distribución χ^2 (*ji-dos de Pearson*) con *n-1 grados de libertad* y la hipótesis se acepta si $D < \chi^2_\alpha$ y se rechaza en caso contrario.

Los dos *test* anteriores son de los llamados paramétricos porque se supone conocido el tipo de distribución y lo que se contrasta son los valores de los parámetros que la determinan. Cuando lo que se conjetura es la propia forma de la distribución el *test* se llama *no paramétrico*. Un caso importante y sencillo se obtiene convirtiendo el anterior *test de adherencia del ajuste* de una distribución discreta en uno aplicable a una continua. Para ello si se tiene una distribución unidimensional y continua F(x) y se hace la hipótesis de que su forma exacta es $F_0(x)$ basta dividir el intervalo de la variable en m intervalos, la pertenencia a cada uno de los cuales se considera como uno de los sucesos A_1, ..., A_m y los valores $a_1, ..., a_m$ son, simplemente, las masas de probabilidad que $F_0(x)$ atribuye a dichos intervalos.

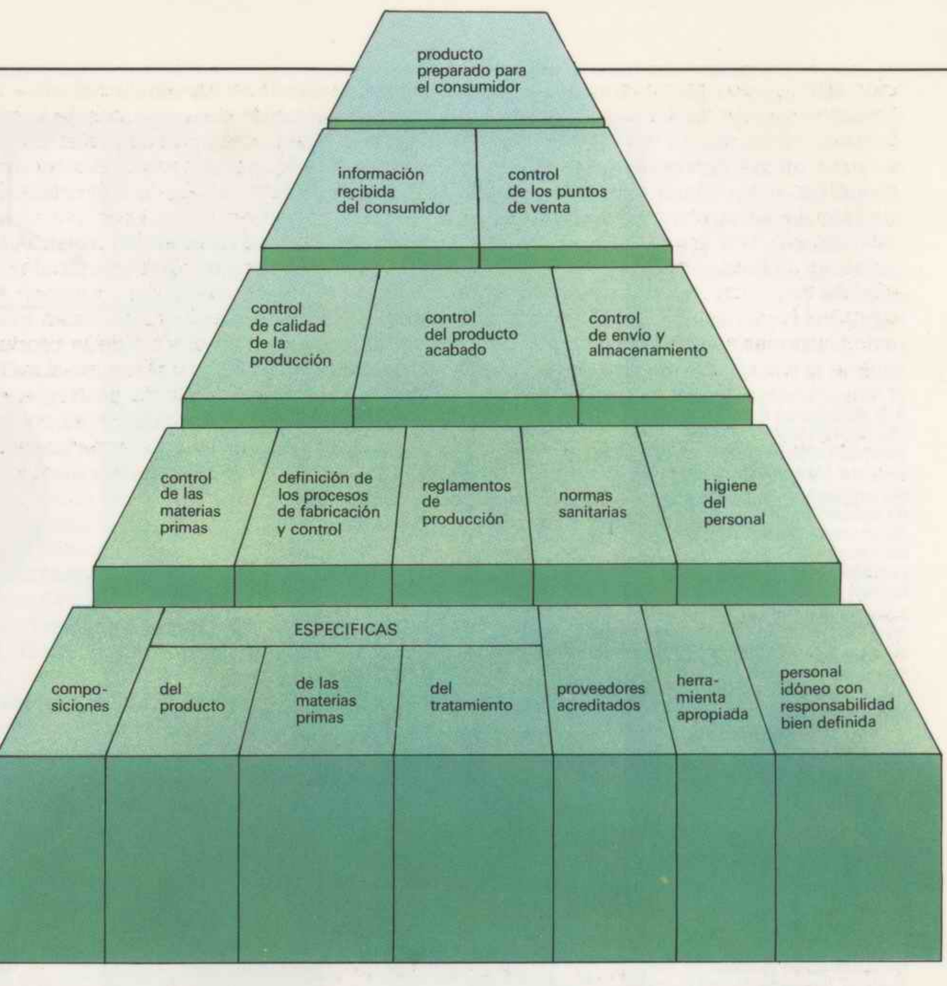
Véase **Estadística; Estadística descriptiva; Estimación estadística; Muestreo estadístico; Probabilidad; Teoría de la decisión**

Control de calidad

Antes de proceder a la comercialización o a la utilización de un producto industrial, los fabricantes lo someten a lo que se denomina *control de calidad*, que consiste, en líneas generales, en comprobar que el objeto fabricado reúne o satisface las características y especificaciones precisas para su correcto funcionamiento. Estas características han debido ser precisamente establecidas en el proyecto y en el plan de fabricación. Así, si se trata de comercializar un tipo de leche cuyo contenido graso se anuncia como inferior al 0,5%, el control de calidad deberá asegurar que la leche resultante de los procesos ejecutados cumple precisamente ese requisito.

Los tipos de control de calidad posibles son innumerables, tantos como productos diferentes existan. No obstante, se pueden establecer algunos modelos generales. Así, hay que distinguir entre control de calidad de productos simples o de productos complejos; entre productos seriados y ejemplares únicos; entre productos que pueden probarse sin perjudicar sus prestaciones y productos en los que la comprobación produce un desgaste que los destruye o los deteriora de forma irreversible.

En el primer caso se encuentra, por ejemplo, el control de calidad de unos alicates, frente al de un televisor, el cual, por estar formado por multitud de componentes, debe someterse a controles de calidad de todas y cada una de las piezas y a un control de calidad final.



En el segundo caso se encuentran los controles de calidad de los automóviles comerciales, frente al control de calidad de un automóvil especialmente blindado y acondicionado para un jefe de Estado. Y en el tercer caso, el control de calidad de un mechero, frente al de una cerilla.

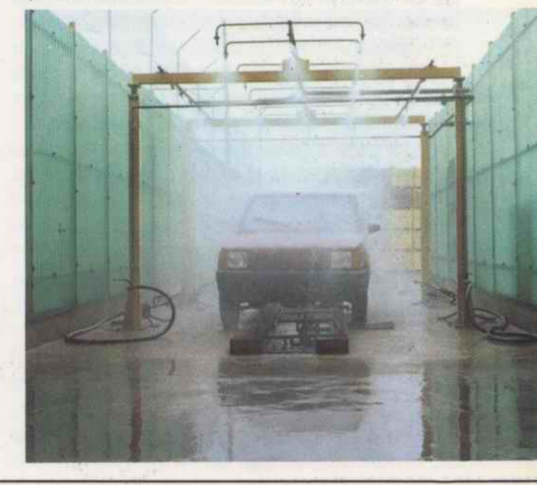
En relación con todo ello, se suelen clasificar las pruebas que se realizan en los controles de calidad en dos grandes tipos: *pruebas no destructivas* (que generalmente se aplican a la totalidad de los productos fabricados, que no experimentan deterioro como consecuencia de la prueba) y *pruebas destructivas* (que necesariamente se realizan sobre un número reducido de los productos fabricados y que por ello se conoce como "control estadístico" o "control por muestreo").

Las pruebas no destructivas Este tipo de pruebas tiene como finalidad detectar posibles defectos del material o de un componente sin alterarlo ni variar su funcionamiento. Las técnicas no destructivas se utilizan, por ejemplo, en piezas que posteriormente se someterán a trabajos repetitivos, desechando aquellas que estén defectuosas y en las que no valga la pena seguir trabajando, o para comprobar dispositivos complejos cuyos componentes individuales ya han pasado determinados controles. Las técnicas de control no destructivo aplican generalmente principios físicos. Así, mediante la introduc-



Arriba, ejemplo de uno de los tantos tipos de comprobación de las características de una pieza que se realiza antes de mandarla hacia elaboraciones sucesivas o hacia el montaje. En la fabricación de una máquina se comprueba cada parte por separado antes de montarla con las demás. Si una de las piezas estuviera defectuosa, podría impedir el montaje o hacerlo difícil, o bien llevar a la fabricación de un producto que una vez acabado sería defectuoso. En este caso, para localizar el defecto, sustituir la pieza y obtener así un producto acabado perfecto, se tendrían que realizar todas las operaciones, que son más fáciles si se hacen antes.

El esquema de bloques de arriba intenta demostrar que el control de calidad está enfocado a satisfacer al consumidor. En realidad se da por supuesto que a la empresa productora le interesa realizar ciertas metas de productividad y de reducción de gastos que en muchas ocasiones son contrarias a las que satisfacen al cliente. A través del control de calidad se pueden conciliar las exigencias contrarias de las dos partes. Este esquema se propone demostrar que el control de calidad no es una operación que se realice únicamente al final del proceso de producción. El control nace con la creación de las especificaciones de la calidad del producto acabado; los proyectistas se encargarán de determinar la calidad que se necesita en las materias primas y en los procesos de elaboración en función de la calidad que se quiera obtener en el producto acabado. Bajo estas líneas, una prueba de la estanqueidad de las juntas de un automóvil.

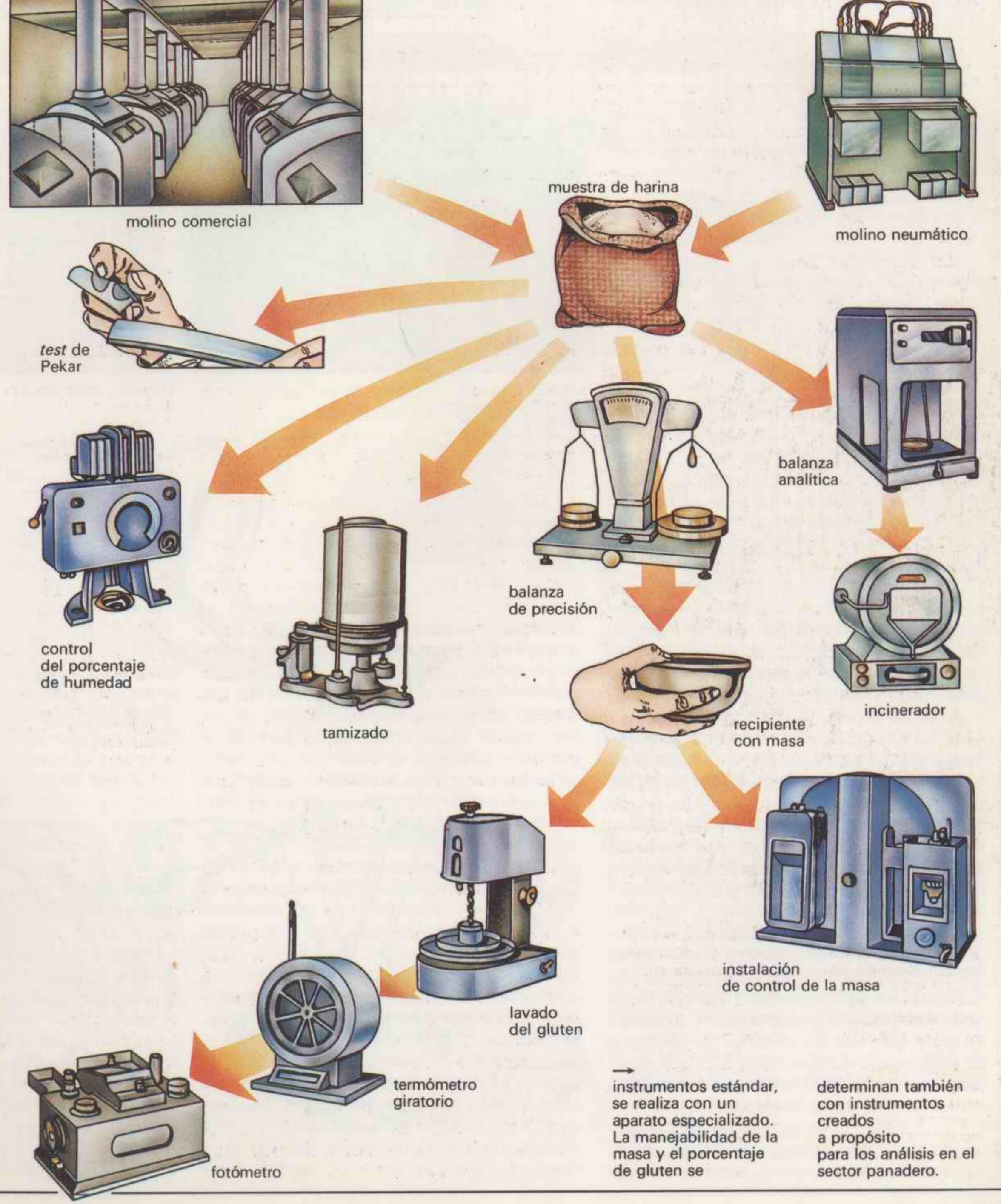


ción de líquidos se ponen en evidencia fracturas o defectos en la pieza sometida a este tratamiento; para detectar fallos también se pueden realizar exámenes radiográficos, exámenes por ondas sonoras (ultrasonidos), cuyo eco y trayectoria permite localizar los posibles defectos. Otros sistemas se basan en la variación que experimenta un campo magnético al introducir en él una pieza determinada. Todos estos sistemas son no destructivos, con lo que la pieza queda igual que antes de la comprobación.

Control estadístico de calidad El control estadístico de calidad se realiza sobre unas cuantas muestras, es decir, sobre un número reducido de elementos de la producción que se pretende controlar, bajo la hipótesis de que si se examinan, por ejemplo, 20 piezas de un total de 100, la no existencia de fallos en esas 20 permite inferir que tampoco existirán en las restantes. Y si apareciera fallo en alguna, puede calcularse matemáticamente el número de fallos que posiblemente aparecerían si se sometiera a control el total de la producción. Normalmente se utilizan en el método estadístico dos tipos de control: el de *variables* y el de *atributos*. En el primer caso se realiza una medida estadística de los parámetros que sirvieron de norma para la producción, fijando unos límites dentro de los cuales puede variar un determinado parámetro, como puede ser el diámetro de un tornillo; se considera aceptable el valor que está dentro de los límites e inaceptable el valor que los exceda. En cambio, en el segundo caso, el control por atributos, se comprueban los parámetros con respecto a un modelo de referencia, siendo un ejemplo típico el calibre: comprobar si un tornillo entra o no en una tuerca.

Véase **Control de procesos industriales**

Cada sector de la actividad industrial realiza sus controles de calidad con métodos e instrumentos específicos. Sin embargo, algunas veces, sectores totalmente distintos utilizan aparatos similares o incluso iguales. Por ejemplo, en las pruebas de resistencia de tejidos se utilizan métodos de tracción idénticos a los utilizados en las pruebas de resistencia de metales. También en el campo de la alimentación los análisis de calidad se pueden parecer entre ellos, pero cada producto o materia prima exige pruebas especiales. Por ejemplo, en el esquema de la derecha se puede ver cómo se realizan pruebas de trigo y harina, y en particular pruebas de harina. El trigo se mide con densímetros y otros aparatos que determinan la dureza y el tamaño. Las pruebas más completas se pueden realizar sobre la harina, es decir, sobre el trigo molido. La harina que se analiza puede proceder de un molino industrial (arriba, a la izquierda) o se puede producir en el mismo laboratorio a partir del trigo entero con un pequeño molino. A partir de este punto se siguen distintas líneas de análisis, en las que se utilizan instrumentos especializados. Por ejemplo, a la derecha está representado el examen de las cenizas, para el que se pesan las muestras en una balanza de precisión y se incineran en una mufla normal. La determinación del grado de humedad, que también se podría realizar con → instrumentos estándar, se realiza con un aparato especializado. La manejabilidad de la masa y el porcentaje de gluten se determinan también con instrumentos creados a propósito para los análisis en el sector panadero.



Control de natalidad

Desde un punto de vista conceptual el control de la natalidad se refiere al conjunto de medidas que pueden adoptarse para controlar el número de nacimientos de una región, comarca o país. Estas medidas pueden tender tanto a incrementar como a disminuir el número de nacimientos, si bien por lo general se piensa sólo en esto último al hablar de control de la natalidad, para lo que existen diversos métodos y dispositivos utilizados por las parejas para evitar embarazos no deseados.

Los más generalizados son los siguientes:

Métodos barrera Son aquellos métodos contraceptivos que de alguna manera evitan el contacto del semen eyaculado por el varón con el cuello uterino y su penetración en el canal genital interno. De una u otra forma estos métodos impiden que se produzca la fecundación (unión de los dos gametos). La "barrera" puede ser mecánica, como es el caso del preservativo, o química, como son los diversos espermicidas.

El *coito interrumpido* es un antiguo método contraceptivo consistente simplemente en impedir la fecundación por retirada del pene del varón del interior de la vagina antes de que se produzca la eyaculación. Es un método muy extendido pero poco eficaz.

El *preservativo* es una vaina de membrana animal o de goma que se coloca envolviendo el pene con el objeto de evitar que el semen penetre en la vagina. Se trata de un eficaz contraceptivo a condición de que no se rompa. Es inocuo y suele ser bien aceptado, si bien ha sido rápidamente sustituido por la píldora y los dispositivos intrauterinos.

Los *diafragmas* son caperuzas o cúpulas de látex que se colocan en el cuello uterino para evitar que el semen pueda penetrar en el interior del mismo. Debe aplicarse junto con una crema espermicida para mejorar su eficacia. Su principal inconveniente es que requiere gran atención por parte de la mujer, que debe observar unas normas precisas.

Las *sustancias espermicidas* se presentan en forma de óvulos, cremas, aerosoles o jaleas. Su mecanismo se basa en una acción química que destruye los espermatozoides del varón.

Métodos cíclicos Se basan en la abstinencia periódica de la realización del coito en función de los períodos de fertilidad e infertilidad de la mujer. El más conocido de ellos es el del calendario o de Ogino-Knaus, que trata de localizar los días fértiles de la mujer en función del estudio de la variabilidad de los ciclos durante doce meses consecutivos. Otros métodos cíclicos tratan de localizar los días fértiles valorando la temperatura basal, el moco cervical y otros indicadores corporales de la ovulación.

Dispositivos intrauterinos (DIU) Son instrumentos de plástico o de metal que, mediante una sencilla operación, se insertan en el interior de la cavidad uterina. Algunos de ellos son permanentes, pero otros necesitan retirarse cada cierto tiempo. En los últimos años se han creado dos modernos tipos de dispositivos, unos que contienen cobre, metal que impide la formación de glucógeno en el endometrio, y otros que liberan progesterona de forma gradual, con lo que a la acción mecánica se une una acción endocrina.

El mecanismo de acción del dispositivo intrauterino es discutido; por una parte evita la fecundación al impedir que el espermatozoide llegue hasta el óvulo, y por otra impide la implantación del huevo fecundado, dado que produce una irritación crónica de la mucosa endometrial (ligera endometritis crónica). El dispositivo

POSIBLES MECANISMOS CONTRACEPTIVOS Y LUGAR DE SU ACCION

OBSTACULO A LA FORMACION DE LAS CELULAS GERMINALES

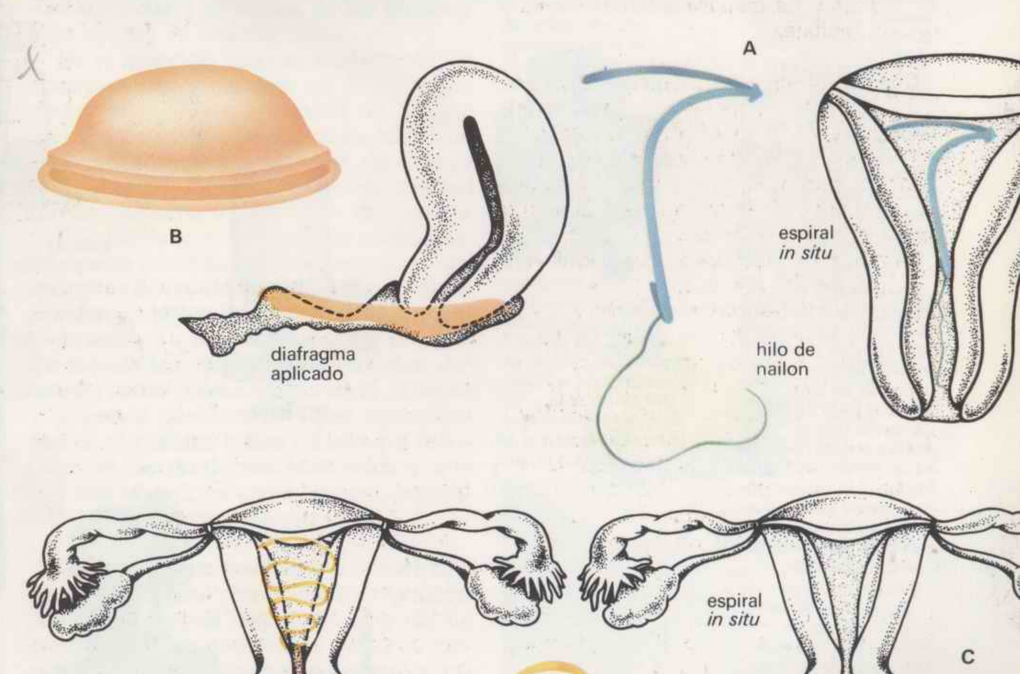
bloqueo de la ovulación	(radiaciones, mercaptopurina, extractos vegetales, germinina, estrógenos y progestágenos)
bloqueo de la espermatogénesis	(agentes alquilantes, hormonas femeninas, nitrofuranos, antiandrógenos)

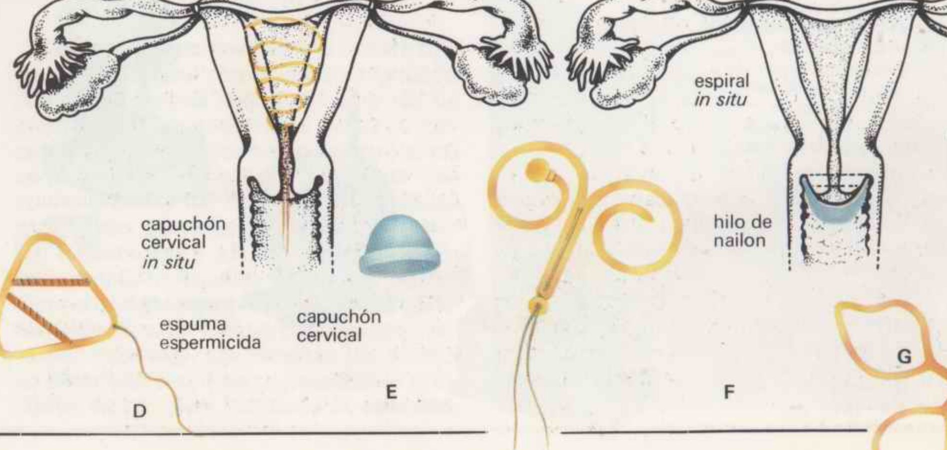
OBSTACULO A LA NIDACION DEL HUEVO

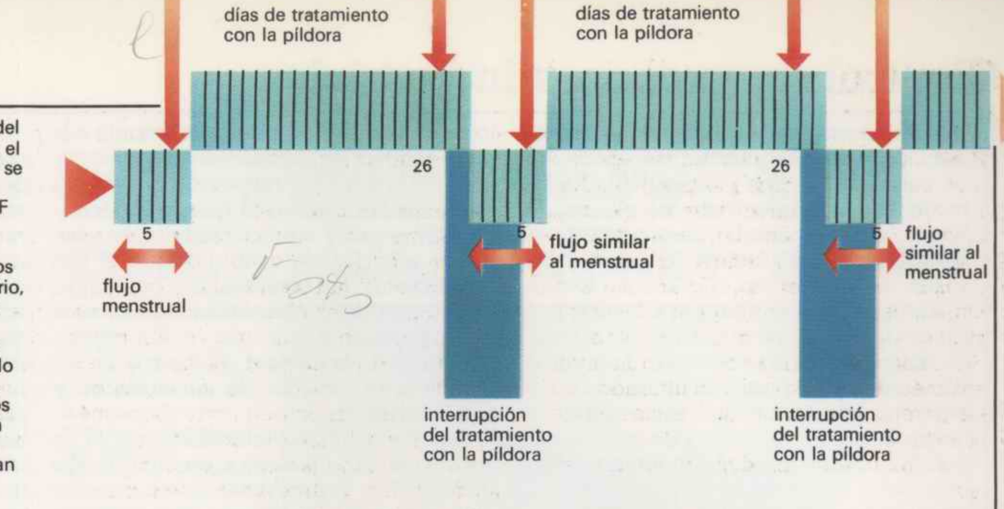
modificaciones endometriales con medios fisiológicos	(estrógenos y progestágenos)
modificaciones endometriales con medios no fisiológicos	(antiestrógenos, antivitaminas, sueros antiplacentarios)
modificaciones de la motilidad tubárica y uterina	(dispositivos intrauterinos, estrógenos y progestágenos)

OBSTACULO A LA FECUNDACION

control del ritmo de fertilidad	(método de Ogino-Knaus)
obstrucción a la entrada de los espermatozoides	(coito interrumpido, preservativos, diafragmas)
expulsión, inactivación o destrucción de los espermatozoides	(duchas vaginales, espermicidas, estrógenos y progestágenos, inhibición de la hialuronidasa, inmunización anti-espermatozoides)
alejamiento postovulatorio del huevo	(dispositivos intrauterinos)







La contracepción es el conjunto de métodos con los cuales se pretende impedir de forma temporal y reversible la concepción. El método contraceptivo debe ser sencillo, eficaz, económico y debe responder a los principios religiosos y morales de la pareja y poseer como único efecto la prevención de la concepción. A la derecha, arriba, esquema de la administración de la píldora anticonceptiva. Los métodos contraceptivos mecánicos (esquema de la izquierda), conocidos incluso por poblaciones primitivas, son métodos empíricos que pueden dar lugar a ciertos inconvenientes como el rechazo, procesos inflamatorios y otros: la espiral rígida (C), por ejemplo, no puede aplicarse en casos de malformaciones del útero, en presencia de fibromas y no se recomienda a los pocos días de un parto o de un aborto; el diafragma (B) impide el contacto del espermatozoide con el cuello uterino; en A se muestra otro tipo de espiral; en D, E, F y G, dispositivos intrauterinos que, produciendo cambios a nivel del endometrio, impiden la nidación del huevo; en E, el capuchón o cápsula cervical que, aplicado en el cuello uterino, impide el paso de los espermatozoides. En los gráficos de esta página se representan tres ciclos hipotéticos de diferente duración. En ellos el período fecundo puede ser identificado a través de la medición de la temperatura.



intrauterino está contraindicado en mujeres con tumores, malformaciones y hemorragias genitales.

Contraceptivos hormonales Los contraceptivos hormonales son preparados de estrógenos y gestágenos en proporciones adecuadas que se administran en forma de píldoras por vía oral. Por lo general estas píldoras llevan unos 50 a 100 microgramos de estrógenos y de 0,5 a 2,5 miligramos de gestágeno. Existen diversos métodos de administración; por lo general las llamadas *píldoras combinadas* se toman durante 21 días seguidos, dejando un período de descanso de 7 días en el que sobreviene la menstruación. La llamada *minipíldora*, que lleva una cantidad muy pequeña de gestágeno, se administra de una manera continuada, sin hacer ninguna pausa. Existen también preparados contraceptivos hormonales inyectables, pero su uso es mucho menor que el de las píldoras.

La acción anticonceptiva de estos preparados hormonales se basa fundamentalmente en su efecto inhibidor de la ovulación, debido al cual el ovocito femenino no puede expulsarse del ovario y ponerse en contacto con el espermatozoide. Pero también desarrollan otras acciones encaminadas a impedir la fecundación; en efecto, producen un espesamiento del moco cervical que dificulta el paso de los espermatozoides, inhiben la movilidad de la trompa de Falopio y producen un cierto grado de atrofia de la mucosa uterina que impide la implantación.

La píldora anticonceptiva constituye uno de los métodos de control de la natalidad más eficaces que se conocen. A pesar de ello, como todo tratamiento médico, su empleo no está exento de riesgos y contraindicaciones. Toda mujer que practique este método de forma continuada deberá someterse a controles anuales que incluyan un examen ginecológico y mamario, citología y colposcopia, toma de la tensión arterial y exámenes de laboratorio (glucemia, colesterol, etc.). Como efectos secundarios indeseables de la administración de contraceptivos hormonales figuran los cambios en el ciclo menstrual, aumento de peso, retención de líquido, cefalea, acné, hirsutismo, aparición de síntomas de pseudoembarazo, como náuseas, vómitos, vértigos y congestión mamaria. Los contraceptivos hormonales provocan un incremento de los niveles de algunos factores de la coagulación sanguínea, por lo que incrementan el riesgo de aparición de trastornos tromboembólicos.

El uso de la píldora está contraindicado de manera absoluta en mujeres embarazadas o que padezcan enfermedad tromboembólica severa, enfermedades del hígado, hipertiroidismo, algunos trastornos sanguíneos y tumores de mama o endometrio. La hipertensión, diabetes, lactancia, migraña y alteraciones menstruales constituyen contraindicaciones relativas y deben ser cuidadosamente evaluadas.

Otros métodos La ligadura quirúrgica de las trompas de Falopio en la mujer y la vasectomía (sección y ligadura de los conductos deferentes) en el varón son *métodos irreversibles*, con los inconvenientes que esto conlleva, ya que provocan una auténtica esterilización. Se han ensayado también *métodos reversibles* en el varón con preparados hormonales y enzimas que destruyen los espermatozoides. La llamada *píldora del día siguiente*, a base de estrógenos, se toma al día siguiente de la realización del coito, aunque su utilización no se ha generalizado.

Véase **Fecundación e inseminación; Genital, aparato; Hormonas**



Control de procesos industriales

Un antiguo pero significativo ejemplo de "control industrial" se encuentra en una máquina que precedió a la Revolución Industrial. Se trata del molino de viento, que se utilizaba para convertir la energía del viento (eólica) en una energía capaz de transformar el grano en harina.

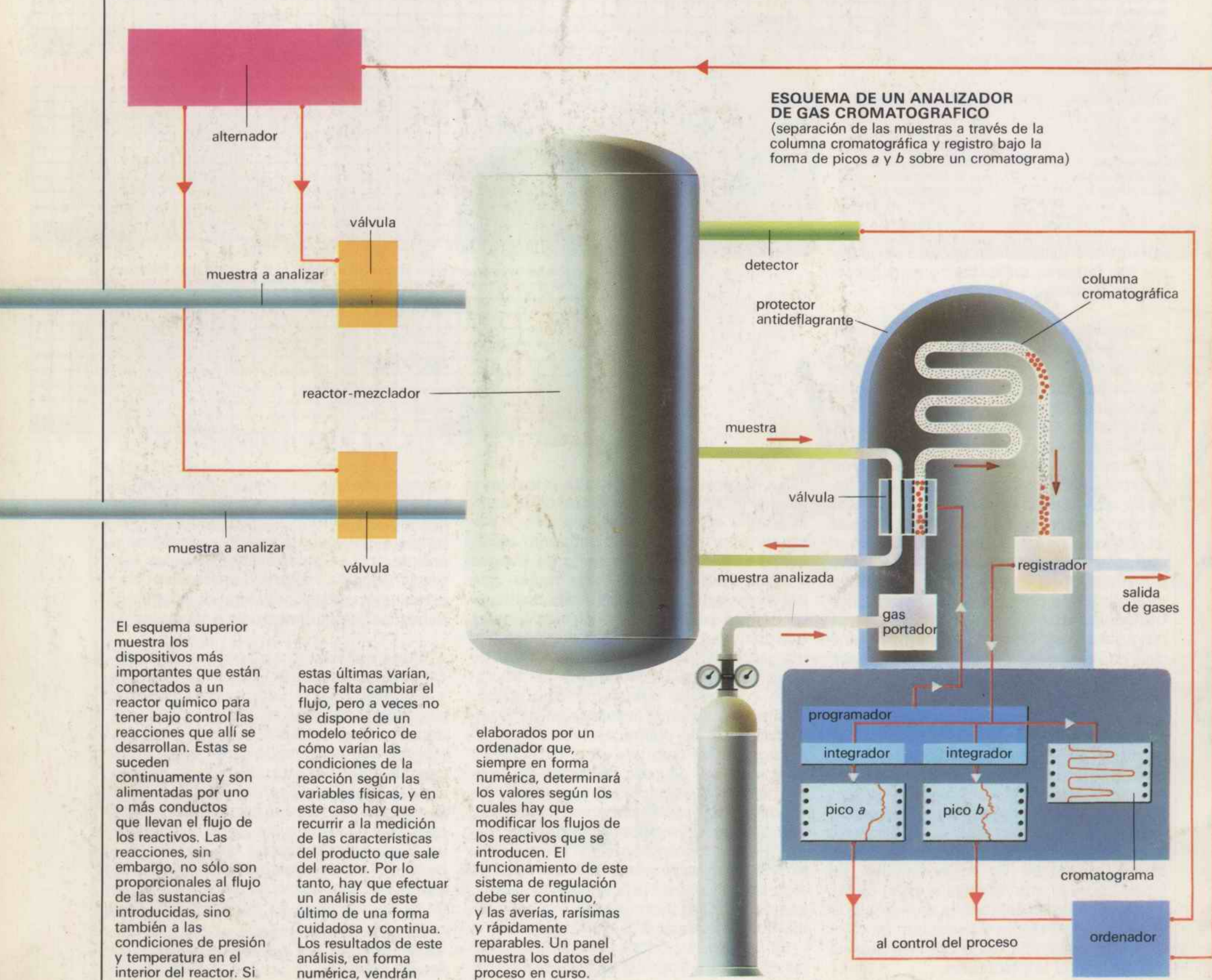
En el siglo XVIII el inglés Edmund Lee añadió una importante innovación al diseño básico del molino de viento. Lo equipó de una serie de aspas secundarias llamadas "colas direccionales". Estas aletas no tenían la misión de proporcionar una potencia adicional, sino que servían para determinar la dirección en la que soplaba el viento haciendo girar la mitad superior del molino de forma que este tuviera siempre el viento "de cara" y pudiera funcionar así con el máximo rendimiento.

Control del proceso El avance que representan las "colas direccionales" para los molinos de viento se corresponde a la gran utilidad de los modernos *analizadores industriales* con respecto a las plantas que elaboran productos químicos derivados del petróleo o productos alimenticios.

Los aparatos de control industrial son mecanismos que controlan una operación, que determinan eventuales variaciones en el proceso y que intervienen rápidamente para restablecer el sistema en las condiciones óptimas de rendimiento y productividad.

La base de dichas intervenciones es un sistema en *lazo cerrado* o de *información realimentada*. Los sistemas de información realimentados constituyen un elemento esencial en industrias altamente tecnificadas como son las industrias químicas y las refinerías, en las cuales el flujo de producción (es decir el flujo de gas o líquido en la línea de producción) debe ser medido y controlado constantemente.

Los sistemas de información realimentados se dividen en tres partes separadas, que funcionan con una determinada secuencia: *medida* (o percepción), *comparación* (o decisión) y *control* (intervención). En el control del proceso la utilización de detectores sofisticados es indudablemente el aspecto más importante del sistema. Los detectores industriales deben poder determinar el valor de elementos tales como la humedad, la temperatura, la presión, la composición química, la viscosidad y la densidad. A diferencia de los instrumentos de laboratorio, de los cuales derivan, los detectores industriales deben ser lo bastante fuertes como para resistir un uso continuado durante largos períodos de tiempo. Los detectores modernos proporcionan resultados cuantitativos muy exactos, que pueden ser transformados en impulsos electrónicos y enviados al calculador (un ejemplo son los datos de



El esquema superior muestra los dispositivos más importantes que están conectados a un reactor químico para tener bajo control las reacciones que allí se desarrollan. Estas se suceden continuamente y son alimentadas por uno o más conductos que llevan el flujo de los reactivos. Las reacciones, sin embargo, no sólo son proporcionales al flujo de las sustancias introducidas, sino también a las condiciones de presión y temperatura en el interior del reactor. Si estas últimas varían, hace falta cambiar el flujo, pero a veces no se dispone de un modelo teórico de cómo varían las condiciones de la reacción según las variables físicas, y en este caso hay que recurrir a la medición de las características del producto que sale del reactor. Por lo tanto, hay que efectuar un análisis de este último de una forma cuidadosa y continua. Los resultados de este análisis, en forma numérica, vendrán elaborados por un ordenador que, siempre en forma numérica, determinará los valores según los cuales hay que modificar los flujos de los reactivos que se introducen. El funcionamiento de este sistema de regulación debe ser continuo, y las averías, rarísimas y rápidamente reparables. Un panel muestra los datos del proceso en curso.

las temperaturas). El ordenador (generalmente digital) controla los datos del proceso que se está desarrollando para verificar que estos estén dentro de los límites preestablecidos o en el campo de las prestaciones esperadas.

En caso contrario, el calculador decide intervenir en el proceso para corregir las oportunas variaciones. Cuando todo el sistema de realimentación está programado para que tenga su propia capacidad de movimiento y pueda intervenir por sí mismo, recibe el nombre de *servomecanismo*.

Instrumentos de análisis del proceso
En los sistemas más avanzados, las tres funciones de un lazo cerrado (medida, comparación y control) operan en espacio de segundos. Esta velocidad es posible gracias a una nueva generación de dispositivos detectores inventados en los años cuarenta y cincuenta: los *instrumentos de análisis del proceso*. Generalmente los más utilizados son los analizadores cromatográficos, los analizadores de rayos infrarrojos y los refractómetros.

Los detectores han revolucionado completamente la posibilidad de controlar los procesos industriales en el curso de su desarrollo.

El analizador de proceso más útil y más versátil es posiblemente el *analizador cromatográfico*, que puede subdividir un gas en hasta cien componentes distintos. Para ello se sirve de un complejo proceso en el cual la corriente del gas en examen está sometida a un flujo de gas inerte. Este hace que los componentes del gas que se analiza se separen y se "posen" sobre un lecho o columna de material absorbente. Cada componente tiene un recorrido de separación y se "posa" de una forma característica sobre el material absorbente, pudiendo, por tanto, ser fácilmente individualizado y analizada su concentración.

Los analizadores más sofisticados tienen un componente digital que transforma las informaciones en impulsos eléctricos, los cuales pasan al calculador para su análisis. Los analizadores cromatográficos se utilizan generalmente en las industrias químicas y petrolíferas, sin embargo se ha demostrado que son igualmente útiles en el análisis de los componentes de la contaminación atmosférica.

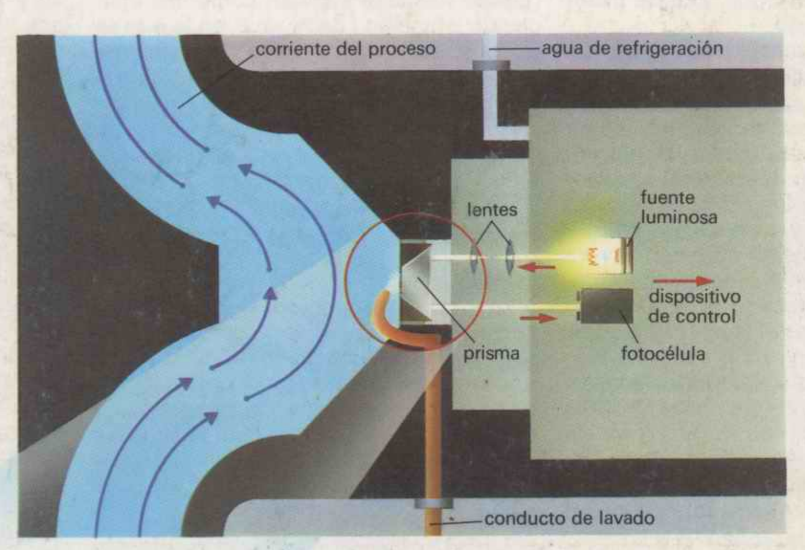
El *analizador de rayos infrarrojos* es útil para determinar la concentración de una única sustancia en un proceso. Por ejemplo, el analizador es tan sensible que puede individualizar indicios de óxido de nitrógeno en una concentración de cincuenta partes por millón. Se consigue esto alternando un haz de radiaciones infrarrojas (con longitudes de onda extremadamente pequeñas y específicas) a través de dos cámaras llenas de gas. La cámara primera contiene un gas de control, que puede ser oxígeno u otro gas que no contenga indicio alguno de nitrógeno. La cámara segunda contiene una mezcla desconocida del gas del proceso que se quiere analizar. Una tercera cámara, que actúa como una lente a través de la cual pasa la luz infrarroja que proviene de las otras dos cámaras, se llena con el gas del proceso que se quiere analizar; en nuestro ejemplo el óxido de nitrógeno de la tercera cámara "vibra" de una forma característica y conocida cuando absorbe los rayos infrarrojos pasando a través de la segunda cámara que contiene la muestra que hay que analizar. Esta discrepancia puede traducirse en impulsos eléctricos que a su vez son utilizados para calcular la concentración del óxido de nitrógeno en la muestra. Todos los demás gases pueden ser determinados de una forma análoga.

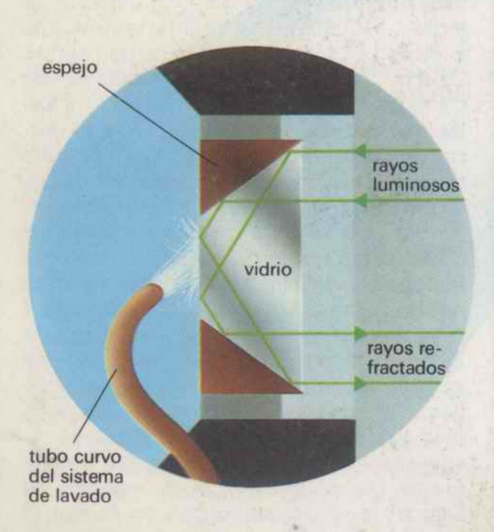
El *refractómetro* de "ángulo crítico" se basa en el principio de que la materia refracta (desvía) la luz según un ángulo que es característico de cada sustancia. El ángulo se define como *crítico* cuando la luz dirigida a la superficie de un flujo del proceso se reflecta completamente como si se tratara de un espejo. En refractometría cada sustancia (al igual que cada mezcla de sustancias) tiene un ángulo crítico específico, de tal forma que puede ser fácilmente medido. Un ejemplo corriente lo tenemos en las instalaciones de embotellamiento de bebidas sin alcohol, en las cuales los porcentajes de azúcar con respecto al agua son controlados por refractómetros de ángulo crítico. Estos detectores se utilizan igualmente para determinar el contenido de agua en la leche y el contenido de azufre en la goma.

Véase **Análisis químico; Automatización; Cromatografía; Infrarrojos, rayos**

ESQUEMA DE UN REFRACTOMETRO DE ANGULO LIMITE

Muestreo continuo de una solución con registro de las variaciones del índice de refracción para medir los cambios en las proporciones de las sustancias que componen la solución.





FUNCION DEL PRISMA

El rayo luminoso que incide sobre la superficie de separación entre el prisma y la muestra es reflectado totalmente; la luz reflectada es enviada a un registrador constituido por dos fotocélulas. El prisma tiene que ser lavado continuamente para que la solución no se deposite en él alterando las propiedades reflectantes.

En algunos casos el instrumento de medición de la calidad de un producto puede examinar propiedades tan sencillas como, en este caso, el índice de refracción. Se cuenta entonces con un aparato estático, de funcionamiento muy seguro y por consiguiente raramente sujeto a paradas o defectos de funcionamiento. El coste no es elevado por lo que se puede disponer de dos unidades en serie para poder utilizarlas alternativamente. Ese aparato está constituido por un prisma (al lado) de reflexión total sobre cuya base fluye el líquido que se controla. La entidad de la intensidad reflejada mide el índice de refracción de la sustancia.

Convergencia

La palabra *límite* se emplea en matemáticas, otras ciencias y en el propio lenguaje cotidiano, en muchas ocasiones, como sinónimo de *frontera*, *borde*, *extremo* u otros términos análogos. Sin embargo el significado que tiene mayor uso e interés en Análisis es el que se le da en expresiones del tenor de "converger al límite" o "tender al límite". Durante dos milenios, los matemáticos han luchado por esclarecer el significado de las mismas y sistematizar su uso; ya en cierto sentido, se usaba en Grecia el concepto de límite, de un modo heurístico, en diferentes campos por ejemplo en el llamado método de exhaución para el cálculo de áreas y volúmenes, en el que Arquímedes fue un genial maestro. Los creadores del cálculo en los siglos XVII y XVIII hacen uso, con poco rigor para el gusto actual, del concepto de límite, que adquiere precisión en el proceso de aritmetización del análisis consolidado en el siglo XIX por obra de matemáticos como Cauchy.

Antes de dar algunas definiciones formales sobre la cuestión, conviene ayudar a la intuición examinando un ejemplo histórico. Sea una circunferencia de radio *r* e inscribamos y circunscribamos en ella polígonos regulares de un número creciente de lados; si, a continuación, se calculan los perímetros y áreas de dichos polígonos se obtienen valores que, por grande que sea el número *n* de lados, nunca coincidirán con la longitud de la circunferencia y el área del círculo, respectivamente, pero que diferirán de ellos cada vez menos según aumente *n*, siendo los valores correspondientes a los polígonos inscritos aproximaciones por defecto y los de los circunscritos por exceso. En la Tabla adjunta se ve cómo dichos valores van aproximándose entre sí y hacia un número, el conocido π, que es el cociente de la longitud de la circunferencia por su diámetro.

Este ejemplo ha ocupado a los matemáticos durante más de dos milenios, hasta que se demostró que π era un número *trascendente* (es decir que no sólo no es racional sino que tampoco es algebraico; o sea que no hay ninguna ecuación algebraica de coeficientes racionales de la que pueda ser solución). Aquí radica uno de los más interesantes resultados que permite la operación de "paso al límite": salirse del cuadro de los números enteros y racionales y poder definir rigurosamente números irracionales como $\sqrt{2}$ ó π.

Sucesiones convergentes Sea E el espacio de los números racionales, reales o complejos y consideremos lo que se llaman *sucesiones infinitas* (o simplemente *sucesiones*). Se trata de un conjunto infinito de elementos ordenados: $a_1, a_2, a_3, ..., a_n, ...$ (puede definirse también como una aplicación o función f de $\mathbb{N}$ en E, en la que se utiliza la notación $f(n) = a_n$). Naturalmente no se descarta la posibilidad de que varios a_n coincidan o incluso que todos los a_n sean un mismo número.

Se dice que la sucesión "converge al límite *l*" o "que tiende a *l*" o que "a_n tiende a *l* cuando *n* tiende a infinito" y se escribe

$$\lim_{n\to\infty} a_n = l$$

cuando el valor absoluto o módulo de la diferencia entre a_n y l se puede hacer tan pequeño como se quiera sin más que tomar *n* suficientemente grande. En términos más precisos (los de la definición de Cauchy) puede decirse: "la sucesión $\{a_n\}$ converge a *l* si y sólo si para todo $\varepsilon > 0$ es posible encontrar un n_o (que dependera de ε) tal que para todo $n \geqslant n_o$ se cumple $|a_n - l| \leqslant \varepsilon$".

Por el contrario se llama sucesión *divergente* a aquella para la que dado cualquier número positivo A siempre existe un n_o tal que para todo $n \geqslant n_o$ se cumple $|a_n| \geqslant A$. Suele decirse, entonces, que la sucesión *diverge* o que *tiende a infinito* o, también, un poco impropiamente, que su *límite* es *infinito*, y escribir:

$$\lim_{n\to\infty} a_n = \infty$$

Puede precisarse más si a partir de un cierto índice todos los a_n de una sucesión divergente son positivos o negativos, diciendo que *diverge a más infinito* o *a menos infinito* respectivamente y escribiendo

$$\lim_{n\to\infty} a_n = +\infty \qquad \lim_{n\to\infty} a_n = -\infty$$

Cuando una sucesión no es ni convergente ni divergente se dice que es *oscilante* (algunos autores llaman a las sucesiones no convergentes simplemente divergentes y entonces, distinguen entre éstas las que divergen a ∞).

Tras la introducción de la operación de "paso al límite" puede inmediatamente, combinarse la misma con las de tipo algebraico (suma, multiplicación, etc.) con las que resulta, salvo excepciones, intercambiable.

Una de las aplicaciones más útiles de la operación de "paso al límite" es la de permitir definir los números reales no racionales como límites de sucesiones de números racionales del modo que se apunta someramente a continuación. Lo mismo que se definen las sucesiones convergentes pueden definirse las llamadas "de Cauchy" o *fundamentales* que son las que para todo $\varepsilon > 0$ se encuentra un n tal que para todo p, q $>$ n se cumple que $|a_p - a_q| \leqslant \varepsilon$; es decir, en términos un tanto informales, una sucesión es de Cauchy cuando los términos de la misma están más próximos entre sí según aumenta el índice. Fácilmente se prueba que si una sucesión es convergente tiene que ser de Cauchy, pero la recíproca puede no ser cierta. Por ejemplo, si estamos en $\mathbb{Q}$ y formamos la sucesión 1; 1,4; 1,41; 1,414; 1,4142;... de números racionales, obtenidos como raíces cuadradas aproximadas por defecto del número 2, resulta inmediato comprobar que se trata de una sucesión de Cauchy; sin embargo no hay un número racional que sea límite de la misma ya que debería cumplir que su cuadrado fuera 2 y no hay ninguno con esa propiedad. Se "crea" entonces el número real $\sqrt{2}$ como límite de dicha sucesión. Técnicamente se llama "completar $\mathbb{Q}$" al proceso —un poco más sofisticado de lo que aquí pueda resumirse— de añadirle a $\mathbb{Q}$ todos los números reales límites de sucesiones de Cauchy que no convergen en él. Por el contrario en $\mathbb{R}$ sí se da la propiedad de que toda sucesión de Cauchy es convergente. Dicha propiedad se resume diciendo que $\mathbb{R}$ es *completo*.

Dos de los números más importantes del Análisis son π y e. Ambos no sólo son irracionales sino que son transcendentes. Como ya se ha dicho, π puede obtenerse

Augustin-Louis Cauchy (1789-1857) es uno de los grandes de la historia de la matemática, tanto como investigador como por su influencia en la enseñanza y sistematización de la disciplina. Aunque destacan sus trabajos sobre el concepto de *límite* y sus contribuciones a la aritmetización del Análisis, no hay que olvidar sus hallazgos en todas las ramas de éste y de la Física matemática.
Abandonó pronto su primitiva profesión de ingeniero para dedicarse, por consejo de sus amigos y maestros Laplace y Lagrange, a la matemática, que enseñó en la Escuela Politécnica (de la que había sido alumno). Su *Cours* (1821) es una obra notable que ha ejercido gran influencia en la enseñanza.
Hombre de profundas convicciones religiosas y adicto a la causa de Carlos X, Cauchy se exilió voluntariamente en 1830, a la subida al trono de Luis Felipe, viviendo y enseñando en varios países y volviendo a Francia en 1838.

como un límite basado en su definición geométrica pero también de otros muchos modos; por ejemplo:

(Wallis, 1655)

$$\frac{\pi}{2} = \lim_{n \to \infty} \frac{2}{1} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{4}{3} \cdot \frac{4}{5} \cdots \frac{2n}{2n-1} \cdot \frac{2n}{2n+1}$$

(Leibniz 1673-74)

$$\frac{\pi}{4} = \lim_{n \to \infty} \left(1 - \frac{1}{3} + \frac{1}{5} - \cdots + \frac{1}{2n-1} - \frac{1}{2n+1}\right)$$

Análogamente, el número *e*, base de los logaritmos neperianos o naturales, se define de modo elemental por la expresión:

$$e = \lim_{n \to \infty} \left(1 + \frac{1}{n}\right)^n$$

pero pueden darse otras muchas. Una de las más útiles es el desarrollo de Euler (de 1748)

$$e = \lim_{n \to \infty} \left(1 + \frac{1}{1!} + \frac{1}{2!} + \cdots + \frac{1}{n!}\right)$$

Límite de una función Si f es una función que aplica $\mathbb{R}$, o un intervalo de la recta real, en $\mathbb{R}$ se dice que *l* es el límite de f(x), cuando *x* tiende a *a*, si para todo $\varepsilon > 0$ existe un $\delta > 0$ tal que $|x - a| \leqslant \delta$ implica $|f(x) - f(a)| \leqslant \varepsilon$. Análogamente se dice que *l* es el límite de f(x) cuando *x* tiende a ∞ si para todo $\varepsilon > 0$ existe $H > 0$ tal que $|x| \geqslant H$ implica $|f(x) - l| \leqslant \varepsilon$. Por último se dice que lím f(x) = ∞ para x tendiendo a *a* o a infinito si para todo $K > 0$ existe $\delta > 0$ ó $H > 0$, respectivamente, tales que $|x - a| \leqslant \delta$ o $|x| \geqslant H$ implican $|f(x)| \geqslant K$. Naturalmente, las anteriores definiciones se denotan en la forma

$$\lim_{x \to a} f(x) = l \qquad \lim_{x \to \infty} f(x) = l$$

$$\lim_{x \to a} f(x) = \infty \qquad \lim_{x \to \infty} f(x) = \infty$$

Cuando se trata de funciones de varias variables o de funciones complejas de variable compleja, las anteriores definiciones siguen sirviendo sustituyendo los "valores absolutos de las diferencias" por las distancias correspondientes.

Una aplicación inmediata del concepto de límite funcional lo proporciona su relación con el de continuidad: "una función es continua en un punto si en él coinciden el valor de la función y el límite de esta cuando la variable independiente tiende a dicho punto". Otras aplicaciones, menos inmediatas, consisten en la definición de los conceptos de *derivada* e *integral* como límites.

Convergencia y topología Desde que Cauchy, en la primera mitad del siglo XIX, precisó el concepto de *límite* para sucesiones y funciones de números reales o complejos hasta la actualidad se ha recorrido un largo camino. Por una parte, el análisis matemático de hoy trata de relaciones y funciones entre elementos cualesquiera (vectores, matrices, incluso, y muy principalmente, funciones, etc.); por otra, la operación de "paso al límite" se ha combinado con otros muchos procesos matemáticos (derivación, integración, etc.) Ello he hecho que sea necesario dar una definición de *límite* más general. El primer paso se presenta fácil: se considera que el conjunto con el que se trabaja tiene estructura de *espacio métrico* y se sustituye el valor absoluto o módulo de la diferencia, del caso de $\mathbb{R}$ o $\mathbb{C}$, por la distancia definida en él y la teoría es, inmediatamente ampliable. Incluso la distinción entre sucesiones convergentes y "de Cauchy" se conserva y puede hablarse de espacios completos como $\mathbb{R}$ y espacios que no lo son como $\mathbb{Q}$.

Pero cabe, lógicamente , ir más lejos y utilizar una estructura más general en la que tenga aún sentido formal la idea de "estar próximos dos puntos": *la de espacio topológico*. Ello se hace del siguiente modo: Sean E y F dos espacios topológicos, f una aplicación de E en F, A una parte de E y *a* un punto de A; entonces se dice que "f(x) tiende a *l*, punto de F, cuando *x* tiende a *a* tomando valores en A" y se escribe

$$\lim_{\substack{x \to a \\ x \in A}} f(x) = l$$

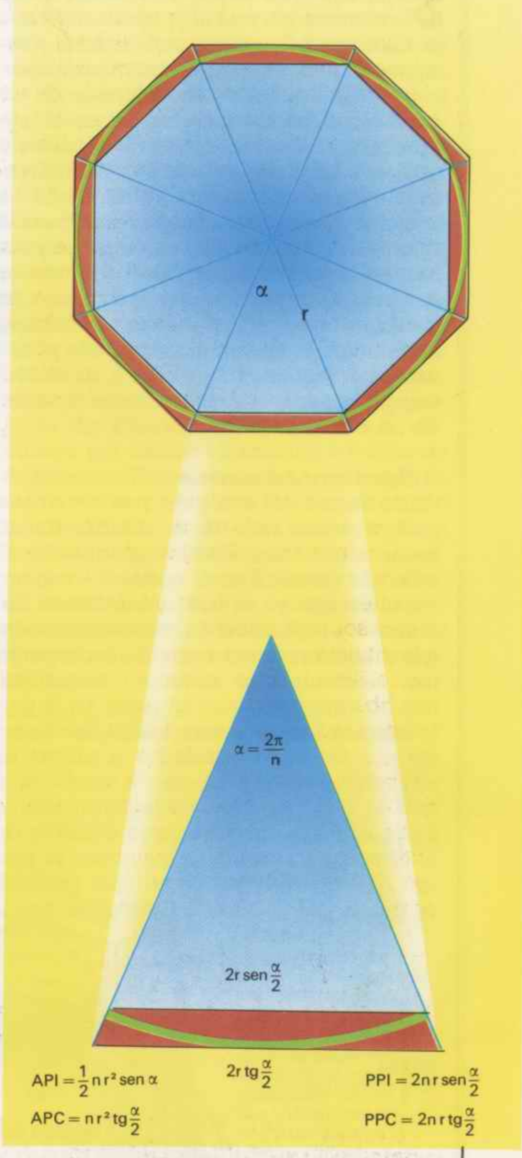
cuando para todo entorno V de *l* en F existe un entorno U de *a* en E tal que $f(U \cap A)$ está contenido en V. (Si A = E las expresiones se simplifican y huelga la alusión a A en definición y notación).

La anterior definición general permite reencontrar las de límite de una función y una sucesión según Cauchy en el caso de espacios métricos o, más particularmente, $\mathbb{Q}$, $\mathbb{R}$, o $\mathbb{C}$. Para ello basta sustituir los entornos V y U generales por los esféricos correspondientes (es decir: $|f(x) - l| \leqslant \varepsilon$, $|x - a| \leqslant \delta$, etc.) en el caso de límite funcional; para el caso de una sucesión conviene observar que E es $\mathbb{N}$, f(n) se denota a_n y que el punto en consideración es el del infinito, cuyos entornos U vienen definidos por los conjuntos de puntos $n \geqslant n_o$ para n_o dado.

La definición topológica general tiene sin embargo un inconveniente. La definición clásica, aún la extendida a espacios métricos, tiene una propiedad esencial: el límite puede existir o no pero caso de existir es único. En efecto: los puntos a_n de una sucesión convergente no pueden cumplir a la vez que $|a_n - l|$ y $|a_n - l'|$ se hagan, simultáneamente, tan pequeños como se quiera a no ser que $l = l'$. Sin embargo en un espacio topológico general podría darse el caso de que los a_n estuviesen, a la vez, en *todo* entorno de *l* y *l'*. Por ello se hace una restricción y se suele limitar la teoría al caso de espacios topológicos *separados* (que son los que cumplen la propiedad de que dos puntos distintos siempre tienen algún entorno del uno que no lo es del otro); en tales espacios topológicos, de los que los métricos son un caso particular importante, se conserva la propiedad esencial citada.

Por otra parte en topología se define un nuevo concepto, el de *filtro*, que permite tratar de forma más sistemática la teoría de la convergencia.

Véase **Análisis matemático; Area y volumen; Continuidad; Derivada y diferencial; Espacios métricos y topológicos; Infinito matemático; Integrales; Números; Progresiones; Series; Topología**



Es fácil dar fórmulas para lados, perímetros y áreas de los polígonos regulares inscritos y circunscritos en una circunferencia, como muestra la figura adjunta. En la tabla se aplican las mismas para hallar algunas aproximaciones del valor de π.

AREAS Y PERIMETROS DE POLIGONOS REGULARES INSCRITOS Y CIRCUNSCRITOS EN UNA CIRCUNFERENCIA

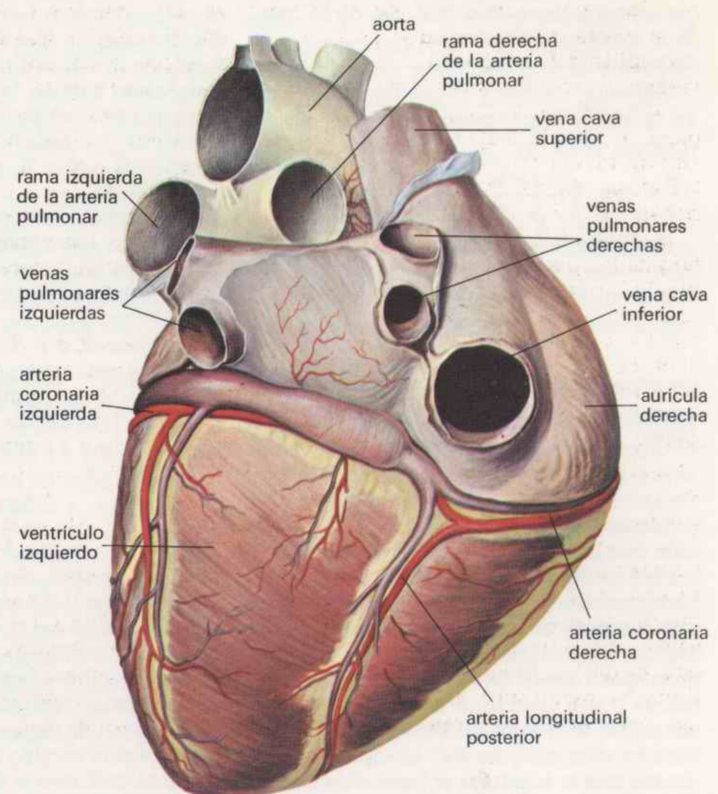
n	$\frac{API}{r^2}$	$\frac{PPI}{d}$	$\frac{APC}{r^2} = \frac{PPC}{d}$
3	1,2990	2,5981	5,1962
4	2,0000	2,8284	4,0000
5	2,3776	2,9389	3,6327
6	2,5981	3,0000	3,4641
7	2,7364	3,0366	3,3710
8	2,8284	3,0615	3,3137
9	2,8925	3,0782	3,2757
10	2,9389	3,0902	3,2492
12	3,0000	3,1058	3,2154
15	3,0505	3,1187	3,1883
16	3,0615	3,1214	3,1826
20	3,0902	3,1286	3,1677
24	3,1058	3,1326	3,1597
32	3,1214	3,1365	3,1517
48	3,1326	3,1392	3,1461
64	3,1365	3,1403	3,1441
....	....	....	....

n = número de lados
r = radio de la circunferencia
d = 2r diámetro de la circunferencia
API = área polígono inscrito
APC = área polígono circunscrito
PPI = perímetro polígono inscrito
PPC = perímetro polígono circunscrito

Corazón

Si pudiésemos observar a través de un microscopio una sola célula cardiaca en un cultivo, la veríamos contraerse y relajarse con un movimiento rítmico y automático. El movimiento coordinado de todas las células cardiacas produce el latido del corazón, haciéndolo contraerse y relajarse 70 veces por minuto, 100 mil veces al día, 37 millones de veces al año. La finalidad de esta actividad es bombear la sangre a todas las regiones del cuerpo a través de una compleja red de canales (los vasos sanguíneos), proporcionar a las innumerables células del organismo el oxígeno y las sustancias nutritivas precisas para mantener la vida, y, al mismo tiempo, eliminar las sustancias de desecho de las células.

Estructura del corazón El corazón, situado detrás del esternón y entre ambos pulmones, se halla en el interior de un saco membranoso llamado *pericardio.* El músculo cardiaco en el hombre —miocardio— constituye el 90% del volumen del corazón y está dividido en cuatro cavidades diferentes. Las dos cavidades superiores, denominadas *aurículas,* comunican con las dos cavidades situadas en la parte inferior, llamadas *ventrículos.* Desde estos dos pares de cavidades la sangre es enviada hacia los pulmones a través de lo que se denomina la circulación menor, o hacia el resto del organismo a través de la circulación mayor. En concreto, la sangre que procede del ventrículo derecho se dirige a los pulmones, mientras que la procedente del ventrículo izquierdo se distribuye por el resto del cuerpo a través de los vasos de la circulación mayor. La dirección del flujo sanguíneo a través de las cavidades cardiacas se mantiene gracias a la acción de una serie de válvulas unidireccionales. La fuerza propulsiva es originada por la contracción de las paredes musculares del corazón. Las células cardiacas se contraen automáticamente con una perfecta coordinación que mantiene el latido a un ritmo regular. Esta coordinación es debida a la acción de unas células cardiacas especializadas, llamadas *células marcapaso,* que envían impulsos eléctricos a las células musculares.



A la derecha, cara posterior del corazón, que muestra el mayor número de uniones vasculares, tanto de entrada como de salida. Se pueden distinguir: el tracto superior del arco aórtico tras su salida del ventrículo izquierdo, las ramas derecha e izquierda de la arteria pulmonar tras su salida del ventrículo derecho, la llegada de las dos venas pulmonares derechas y de las dos venas pulmonares izquierdas a la aurícula izquierda y, por último, la desembocadura de la vena cava inferior y superior en la aurícula derecha. Pueden observarse también el seno coronario y las arterias coronarias derecha e izquierda. En la figura de la parte inferior, una sección del corazón que pone en evidencia el sistema de conducción de los estímulos cardiacos; desde el nódulo sinusal el estímulo se propaga al nódulo auriculoventricular. →

→ Aquí las fibras de conducción se dividen en dos fascículos que transcurren a los lados del *septum* interventricular hasta dividirse constituyendo las fibras de Purkinje.

vena cava superior
nódulo sinusal
nódulo auriculoventricular
aurícula derecha
vena cava inferior
venas pulmonares
aurícula izquierda
miocardio
fibras de Purkinje
septum interventricular

Flujo sanguíneo La sangre retorna al corazón a través de las venas después de haber recorrido todo el organismo. Las dos venas más importantes son la *vena cava inferior* y la *cava superior.* Estas venas transportan la sangre, cargada de residuos metabólicos y de dióxido de carbono, a la aurícula derecha, que se contrae y envía la sangre al ventrículo del mismo lado. El flujo sanguíneo mantiene abierta la válvula situada entre la aurícula y el ventrículo derecho, denominada *tricúspide,* hasta que el ventrículo se llena de sangre, momento en que comienza a contraerse. El nuevo flujo sanguíneo provoca el cierre de la válvula tricúspide y la apertura de la válvula pulmonar, a través de la cual la sangre del ventrículo pasa a la arteria pulmonar que en seguida se ramifica en vasos cada vez más pequeños. Esta ramificación es tan extensa que, cuando la sangre alcanza los vasos más estrechos —los capilares—, los glóbulos

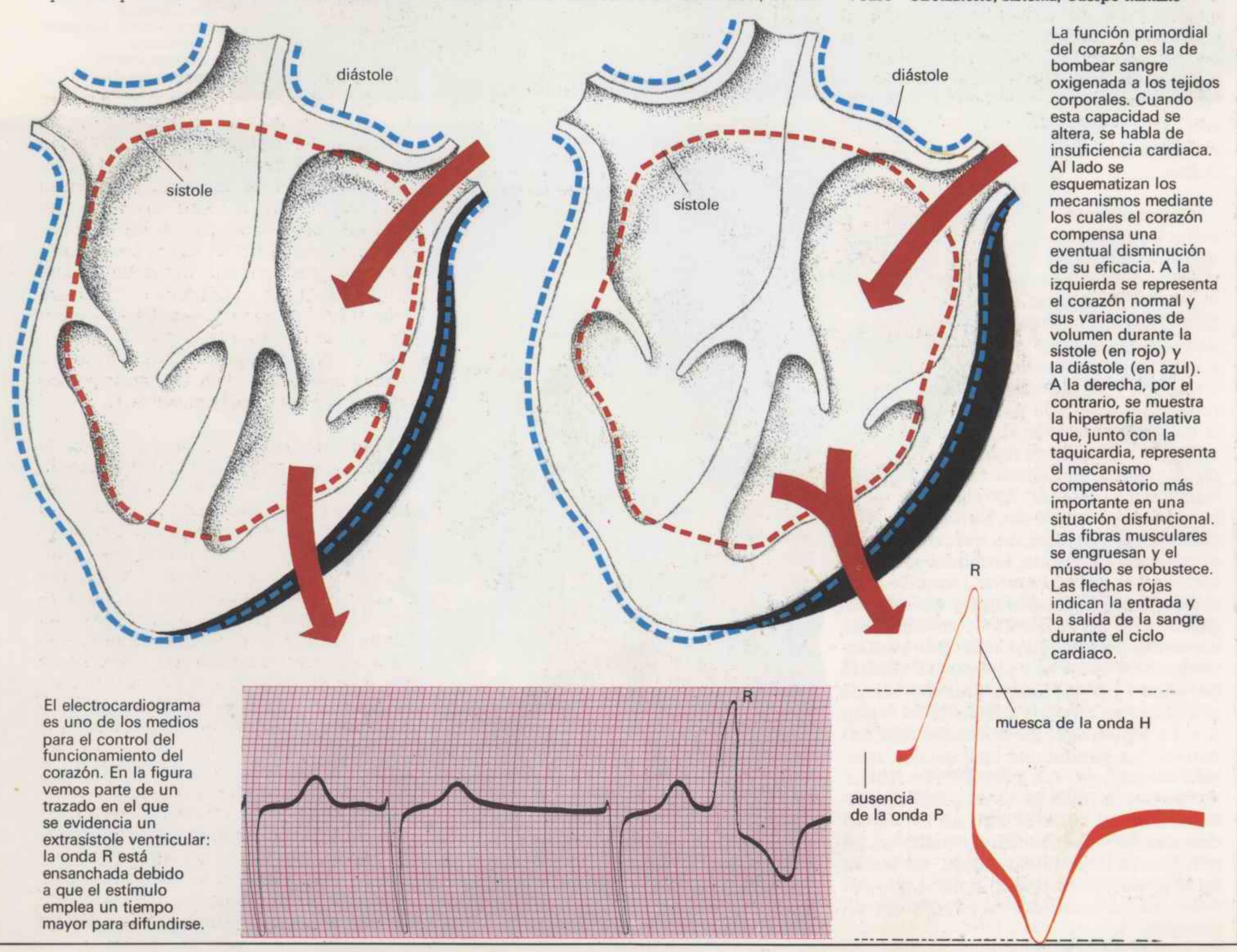
rojos se ven obligados a circular en una sola fila, incorporando el oxígeno difundido a través de las delgadas paredes de los capilares. A continuación, el sentido de la ramificación de los vasos sanguíneos se invierte, ya que la sangre enriquecida en oxígeno circula a través de vasos cada vez de mayor tamaño que se reúnen en las venas pulmonares, las cuales desembocan en la aurícula izquierda.

La contracción de la aurícula izquierda origina la apertura de la válvula del ventrículo izquierdo, esto es, la válvula mitral. Este ventrículo se llena de sangre y comienza a contraerse. La contracción del ventrículo izquierdo provoca el cierre de la válvula mitral y la apertura de la válvula aórtica. Desde el ventrículo izquierdo la sangre, atravesando la válvula aórtica, alcanza la principal arteria del organismo, la *aorta*, desde la cual parten los vasos sanguíneos que se ramifican por todo el organismo. Para mantener el flujo sanguíneo a través de todo el organismo es necesaria una presión mucho mayor de la que se precisa para la irrigación de los pulmones; este es el motivo de que las paredes musculares del ventrículo izquierdo sean considerablemente más gruesas y potentes que las paredes del ventrículo derecho.

En la primera porción de la aorta nacen las dos arterias coronarias, que van a irrigar el corazón, abasteciendo al músculo cardiaco de sangre rica en oxígeno a través de una extensa red formada por capilares y vasos pequeños. Las ramificaciones arteriales que se originan en las coronarias se distribuyen primeramente sobre la superficie del corazón y, posteriormente, se introducen en el interior del músculo cardiaco. Las venas coronarias devuelven a la aurícula derecha la sangre ya utilizada y carente, por lo tanto, de oxígeno.

Sistema eléctrico Las contracciones del miocardio están controladas por un tejido cardiaco especializado que presenta una conformación en nódulo o fascículo. El nódulo que controla la primera señal del corazón es el nódulo sinusal o *marcapaso*. Situado en la unión de la aurícula derecha con la vena cava superior, el nódulo sinusal da salida de un modo automático a un estímulo contráctil que se propaga, a través de los fascículos de conducción y de pequeñas formaciones nodulares, al tejido de ambas aurículas. Este marcapaso se encuentra bajo control parcial por parte del sistema nervioso autónomo. Mientras las aurículas se contraen, el impulso nervioso continúa su propagación a través de las propias aurículas hasta el nódulo auriculoventricular. Este nódulo se encuentra situado en el tejido endocárdico comprendido entre la aurícula derecha y el ventrículo del mismo lado, que se halla debajo. Está controlado también por el sistema nervioso autónomo. En este nódulo el estímulo experimenta un ligero enlentecimiento que permite que las aurículas se contraigan y que la sangre llene los ventrículos. Una vez llenos los ventrículos, el nódulo auriculoventricular posibilita el paso del estímulo hacia abajo, a lo largo de la pared que existe entre ambos ventrículos y a través de un tejido especializado para la conducción, llamado *fascículo de His*. Desde aquí, el estímulo se distribuye por ambos ventrículos a través de dos vías denominadas *ramas del fascículo de His*, dando lugar a una contracción coordinada de modo que la sangre fluya desde el ventrículo derecho hacia los pulmones y desde el ventrículo izquierdo hacia la circulación mayor o corporal. La frecuencia de las contracciones cardiacas es igual a la frecuencia con que se genera el estímulo.

Véase **Circulatorio, sistema; Cuerpo humano**



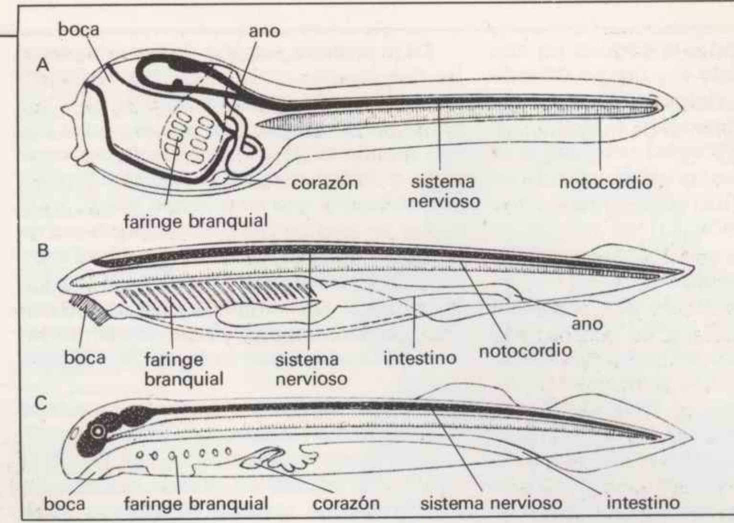
La función primordial del corazón es la de bombear sangre oxigenada a los tejidos corporales. Cuando esta capacidad se altera, se habla de insuficiencia cardiaca. Al lado se esquematizan los mecanismos mediante los cuales el corazón compensa una eventual disminución de su eficacia. A la izquierda se representa el corazón normal y sus variaciones de volumen durante la sístole (en rojo) y la diástole (en azul). A la derecha, por el contrario, se muestra la hipertrofia relativa que, junto con la taquicardia, representa el mecanismo compensatorio más importante en una situación disfuncional. Las fibras musculares se engruesan y el músculo se robustece. Las flechas rojas indican la entrada y la salida de la sangre durante el ciclo cardiaco.

El electrocardiograma es uno de los medios para el control del funcionamiento del corazón. En la figura vemos parte de un trazado en el que se evidencia un extrasístole ventricular: la onda R está ensanchada debido a que el estímulo emplea un tiempo mayor para difundirse.

Cordados

Los Cordados representan uno de los grupos más grandes del reino animal. Sin ser el grupo más numeroso, pues está representado por solamente 40.000 especies frente al millón de especies que se incluyen en el reino animal, comprende la mayoría de las especies en las que se piensa cuando se habla de animales, inclusive la nuestra.

La mayor parte de las especies de Cordados pertenece a los Vertebrados, y por lo tanto a las formas mejor conocidas, como los Peces, los Anfibios, los Reptiles, las Aves y los Mamíferos. Todos estos grupos, junto con otros menos conocidos, poseen una serie de características comunes, que se manifiestan sólo durante el desarrollo embrionario. Esas características son: la faringe branquial, un notocordio y un sistema nervioso en forma de tubo dorsal.

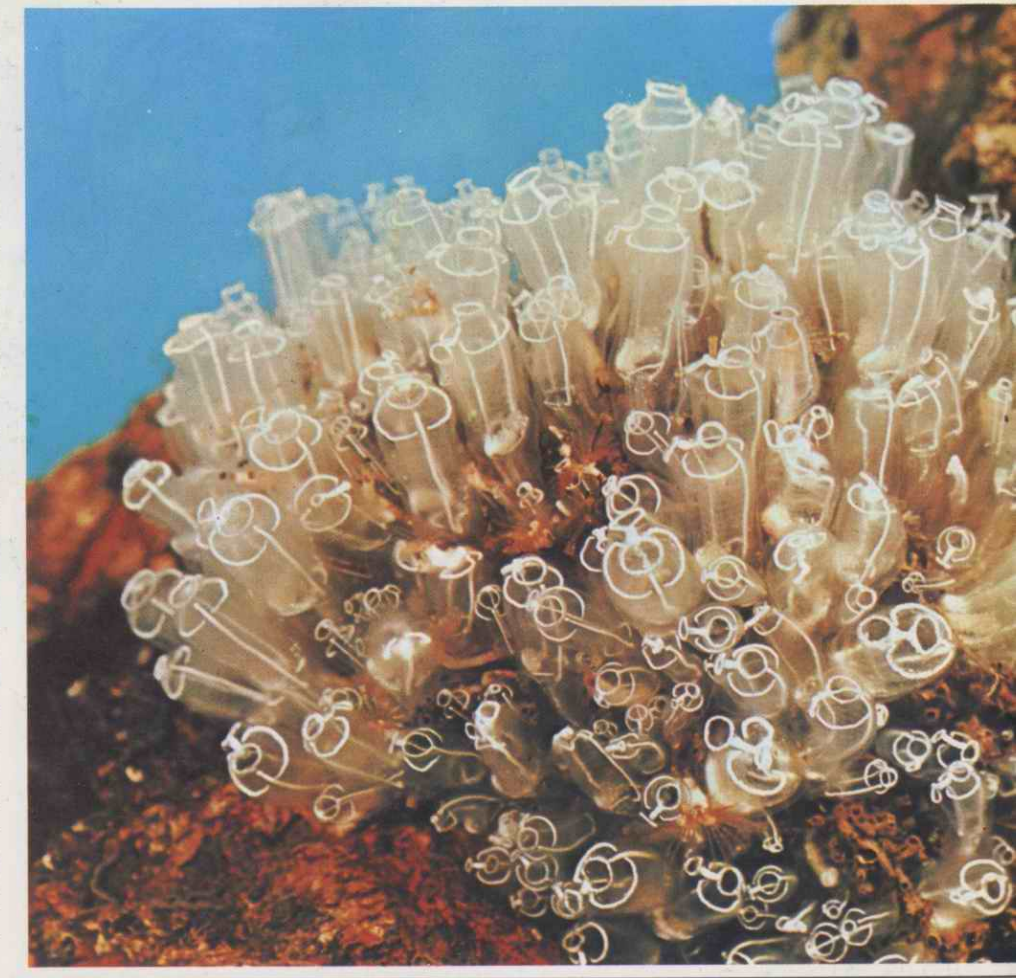


Los Cordados constituyen un grupo bastante heterogéneo al que pertenecen especies animales con características morfológicas y de organización bastante diferentes, pero con una disposición especial de los órganos. La afinidad entre los distintos grupos es evidente sobre todo en el estadio larvario. A la izquierda vemos representada esquemáticamente la anatomía de los cordados: son los Tunicados o Urocordados (A), Cefalocordados (B) y los Vertebrados (C).



A la izquierda, un ejemplar de anfioxus (*Branquiostoma lanceolatum*), el más conocido de los cefalocordados, en el que se manifiesta la disposición metamérica de la musculatura y de las gónadas. Abajo, una bellísima colonia de *Clavelina lepadiformis,* tunicado ascidiáceo exclusivamente marino fijo sobre el fondo.

Características El *notocordio* es una estructura alargada de sostén, fina y gelatinosa, que puede ser comparada, aunque de hecho no sea idéntica, a una columna vertebral. En algunas de las especies más primitivas, se manifiesta sólo en la fase larvaria, y desaparece después en estadio adulto. En las formas más avanzadas, como los peces y los mamíferos, a menudo está rodeada o sustituida por las vértebras de la columna vertebral. El sistema nervioso se forma dorsalmente respecto al notocordio, y tiene la estructura de un tubo cuya terminación anterior se ensancha y se hace más gruesa en los vertebrados para constituir el encéfalo, del que forma parte el cerebro. Las fisuras branquiales se desarrollan en pares a ambos lados de la faringe, que es la parte anterior del tubo digestivo. En las especies acuáticas como los peces, las branquias se utilizan para introducir en la sangre el oxígeno tomado del agua y para expulsar fuera del cuerpo el dióxido de carbono contenido en la sangre. En algunos de los cordados más primitivos las hendiduras branquiales, además de asegurar los intercambios gaseosos, se utilizan para filtrar las partículas alimenticias del agua. Incluso en los cordados más evolucionados, los Mamíferos, las hendiduras branquiales están presentes en el estado embrionario, aunque desaparecen en el curso del desarrollo del organismo.



Los Cordados invertebrados Los Tunicados viven en el mar y algunos, como las Ascidias, presentan larvas nadadoras, de aspecto muy similar al de los renacuajos, y que se transforman profundamente durante la metamorfosis. Sólo durante el estado larvario poseen las características típicas de los cordados.

En el caso de las ascidias, cuando está preparada para la metamorfosis, la larva baja al fondo y se adhiere por la cabeza a un objeto fijo. La cola, el notocordio y la cadena nerviosa se atrofian, mientras la faringe aumenta y las dos aberturas para el movimiento del agua hacia el interior y hacia el exterior de la faringe se transforman en sifones. El adulto así formado permanece fijo al fondo y se alimenta filtrando las partículas del agua con su gran branquia.

Existen otros cuatro tipos de tunicados: los Sálpidos, los Doliólidos, los Pirosómicos (pequeños animales en los que, a diferencia de las ascidias, la larva se transforma en un adulto que nada libremente) y los Larvados (que se reproducen manteniendo el aspecto de la forma larvaria).

Algunos zoólogos piensan que los vertebrados derivan de tunicados que alcanzaron la madurez sexual sin llegar al estado adulto (condición a la que se le da el nombre de *neotenia*), ya que los vertebrados recuerdan a las formas larvarias de los tunicados.

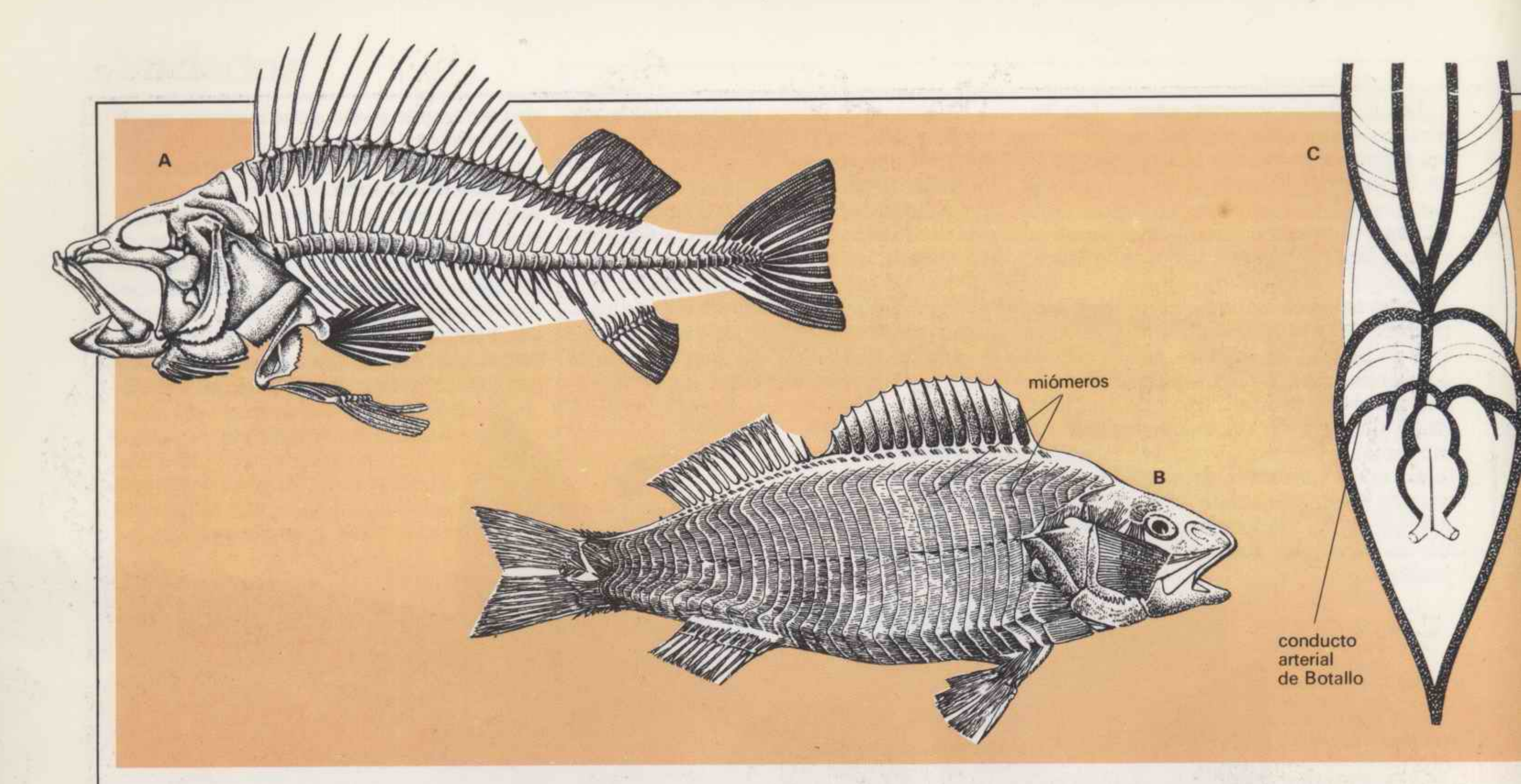
Los Cefalocordados están representados por pocas especies, pero de similar estructura. Entre ellas se encuentran el conocido anfioxus, pequeño animal que, al igual que el resto de los cefalocordados, recuerda vagamente a un pez. Su notocordio recorre el cuerpo en toda su longitud. Las hendiduras branquiales filtran el alimento y sirven para la respiración. La terminación anterior del tubo neural está levemente ensanchada, formando un esbozo de cerebro. Presenta un sistema de nervios periféricos muy primitivo, que salen del cordón nervioso. El sistema circulatorio, más que un solo corazón, presenta un cierto número de "estaciones de bombeo" distribuidas a lo largo del cuerpo.



G.S. Giacomelli-S. Chiara

Los cordados, de los que vemos un ejemplar vertebrado mamífero, la jirafa, presentan una serie de caracteres comunes, al menos en el estado embrionario: una cuerda dorsal o notocordio que constituye el eje del cuerpo, un sistema nervioso tubular dispuesto dorsalmente respecto al notocordio, y un tubo digestivo que presenta una serie de fisuras branquiales que forman un órgano característico, la faringe branquial.

Los Vertebrados Los Vertebrados son el grupo más rico, numeroso y variado dentro de los cordados: generalmente se dividen en grupos fundamentales, cuatro de los cuales corresponden a animales acuáticos y cuatro son tetrápodos (o cuadrúpedos). Cada uno de ellos tiene una espina dorsal que sirve de sostén cen-



tral al esqueleto y protege la médula, cuya importancia aumenta por la evolución de las funciones cerebrales. Una estructura de costillas conectadas a la espina dorsal encierra y protege los principales órganos del cuerpo.

El esqueleto está constituido por huesos y cartílagos. Los peces utilizan las branquias para respirar, extrayendo oxígeno del agua, aunque algunos de ellos poseen pulmones como órganos respiratorios auxiliares. Los pulmones constituyen el principal órgano respiratorio para los tetrápodos marinos y terrestres.

A continuación se recogen las ocho clases fundamentales de vertebrados:

Los *Agnatos*, o peces desprovistos de mandíbulas, son los vertebrados más antiguos conocidos; están representados por sólo dos grupos supervivientes: los Myximoideos y Petromyzontideos, con los géneros Myxine y Lamprea, reunidos ambos bajo el nombre de Ciclóstomos (boca redonda); los myximoideos son "barrenderos" y las lampreas son parásitos que viven sobre otros peces. Tienen esqueletos muy rudimentarios, a diferencia de sus antepasados extintos, los Ostracodermos, dotados de una coraza ósea.

Los *Placodermos*, primeros vertebrados con mandíbulas (hoy extinguidos), tenían aletas aplanadas y se consideran los antepasados de los actuales escualos y peces provistos de huesos.

Los peces del grupo *Condroicitos*, es decir, escualos, rayas y quimeras, tienen esqueleto cartilaginoso. Los escualos tienen el hueso de la mandíbula superior no rígidamente unido al resto del cráneo. Los riñones ayudan a mantener el nivel adecuado de concentración de sustancias disueltas en el líquido circulatorio. Muchos escualos ponen grandes huevos, que son fecundados en el interior del cuerpo, si bien algunas especies son vivíparas.

Los *Osteictios*, clase a la que pertenece la mayoría de los peces, tienen esqueleto óseo. Muchos poseen una vejiga natatoria, que usan para mantenerse en el mismo nivel, subir o descender en el agua mediante la variación de la cantidad de aire contenida en ella. Estos peces tienen el corazón dividido en dos cámaras, que reciben la sangre del cuerpo y la impulsan hacia las branquias. Algunas de las especies más primitivas, como el esturión, tienen gruesas escamas y la cola asimétrica, como los escualos. Las especies más evolucionadas, incluidas en los Teleósteos, tienen la cola simétrica y las escamas formadas por finas capas de hueso. La mayor parte de los individuos que viven en el mar ponen una gran cantidad de huevos que son fecundados externamente.

Los *Anfibios*, evolucionados a partir de antiguos peces óseos, ponen sus huevos en agua dulce, donde son fecundados externamente. Durante el estadio larvario viven en el agua y respiran por medio de branquias. Los adultos viven en tierra firme pero necesitan un ambiente húmedo para preservar su piel (y el cuerpo en conjunto) de la deshidratación. Algunas especies son capaces de respirar directamente a través de la piel; la mayoría utiliza los pulmones. El corazón tiene tres cámaras, que contribuyen a una separación parcial de la sangre oxigenada y la sangre pobre en oxígeno. Esto constituye un avance respecto al corazón de dos cámaras de los peces. Los tres órdenes de anfibios que han sobrevivido son los Urodelos (salamandras y tritones), los Anuros (ranas y sapos) y los Gimnofionos, a los que pertenecen algunas especies tropicales de cuerpo parecido al de una lombriz, y las especies del género Coecilia.

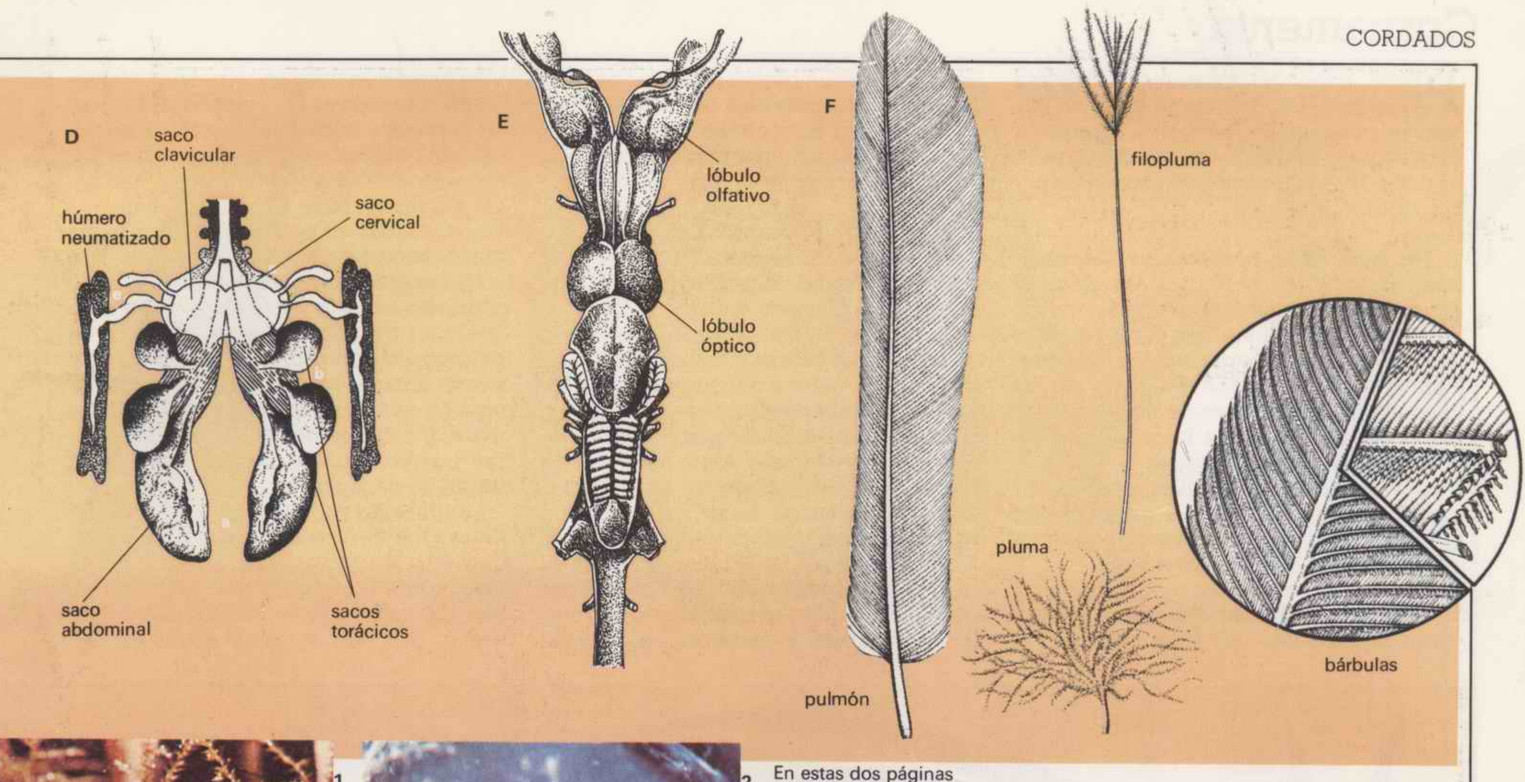
Los *Reptiles*, evolucionados a partir de los anfibios, han desarrollado una piel escamosa casi impermeable y un huevo terrestre, lo que les permite tener una existencia fuera del agua. El huevo de reptil presenta un cierto número de membranas (una de las cuales se denomina *amnios*), adaptadas a mantener la humedad del interior, permitiendo al mismo tiempo los intercambios gaseosos con el exterior. Incluso las especies de reptiles que han vuelto a la vida acuática, como las tortugas, respiran aire durante toda la vida y, salvo raras excepciones, ponen sus huevos en tierra. Algunos de los reptiles mayores, paradójicamente, se han extinguido. Los dinosaurios probablemente tuvieron que competir con los mamíferos y perdieron en la lucha por la supervivencia.

El orden actual de reptiles más numeroso es el de los Escamosos, que incluye tanto a los lagartos como a las serpientes.

Los reptiles tienen sangre "fría", es decir, son esencialmente incapaces de regular la propia temperatura corporal. Por ello deben evitar las condiciones extremas de temperatura en su modo de vida.

Las *Aves* han evolucionado a partir de los eptiles, pero son seres de sangre "caliente" como los mamíferos. Su temperatura interna no depende de la del medio que las rodea. Por esa razón pueden, como los mamíferos, vivir en zonas extremadamente frías. También tienen cuatro miembros como los mamíferos, pero el par anterior se ha adaptado al vuelo, y el esqueleto ha sufrido las modificaciones necesarias. Mientras las plumas aumentan la superficie alar, el plumón y las plumas pequeñas no suponen una ayuda para el vuelo sino que contribuyen a un eficiente aislamiento térmico, hecho importantísimo para estas criaturas que deben mantener una temperatura corporal elevada.

Otro desarrollo importante es el corazón de cuatro cámaras, mucho más eficiente que el de dos cámaras de los peces o el de tres cámaras de los reptiles. Al-




1


2


3


4


5


6

Fotos: G. Mazza, E.P.S., A. Pozzi

En estas dos páginas aparecen algunas características anatómicas de los cordados vertebrados. En A, esqueleto de pez actinopterigio, con el cráneo recubierto de huesos cutáneos. En B, musculatura de pez con la típica estructura segmentaria metamérica. En C, esquema del corazón y de los grandes troncos arteriales en los anfibios urodelos, en el que se aprecia la comunicación entre las arterias pulmonares y las aortas, mediante el conducto arterial de Botallo. En D, pulmón y sacos aéreos de las aves, que permiten el funcionamiento del mecanismo respiratorio durante el vuelo. En E vemos el encéfalo de un escualo, en el que se aprecia el gran desarrollo de los lóbulos olfativos en función del importante papel que juega el olfato en estos animales para localizar la presa. En F, pluma, filopluma, plumón y ampliación de las bárbulas de una pluma de ave. A la izquierda, secuencia del desarrollo embrionario y metamorfosis de la rana: racimo de huevos (1), división del huevo en 4 blastómeros (2), embrión con forma bien definida (3), inicio de la vida libre del renacuajo (4), paso a la respiración pulmonar (5) y finalización del desarrollo con la reabsorción de la cola (6).

gunas aves, como el avestruz, han perdido la capacidad de volar y viven en tierra. Otras, como los pingüinos, viven en el mar y son excelentes nadadores. Las aves ponen huevos amnióticos como los de los reptiles, que son fecundados internamente, pero, a diferencia de los reptiles, las aves cuidan a sus crías incluso después de la eclosión del huevo.

Los *Mamíferos*, al igual que las aves, han evolucionado a partir de los reptiles, y tienen un corazón de cuatro cámaras y sangre caliente. Para el aislamiento térmico tienen generalmente el cuerpo bien cubierto de pelo. En algunas especies, como las ballenas y los delfines, para las que los pelos serían inútiles, el aislamiento térmico corre a cargo de un panículo adiposo. La fecundación es interna y todos los mamíferos paren sus crías ya formadas, a excepción de algunas especies primitivas. En Australia, debido a su aislamiento, han sobrevivido algunas de esas especies. El ornitorrinco pone huevos y el canguro y otros marsupiales paren crías extremadamente poco desarrolladas, cuyo crecimiento continúa después en la bolsa marsupial, donde los pequeños se alimentan de la leche materna. Sólo los mamíferos producen leche para alimentar a sus crías. En general los mamíferos tienen los órganos sensoriales y el cerebro más complejos que los demás vertebrados, y se han adaptado a vivir en todo tipo de ambientes y en todas las regiones del mundo. Algunos, como los murciélagos, empezaron a volar una vez que experimentaron una transformación que adaptó sus patas al vuelo; otros viven en el mar, y llevan a cabo en él su proceso reproductivo. A la clase de los Mamíferos pertenece también el orden de los Primates, que comprende los simios y el hombre.

Véase **Vertebrados**

Cornamenta

Pocas especies animales presentan cuernos. Generalmente éstos se observan en algunas especies de mamíferos provistos de pezuñas y muy raramente en algunos reptiles, como los camaleones y las víboras.

De qué están constituidos los cuernos Los pelos, las plumas, las garras y los cuernos son estructuras que tienen características comunes. Son órganos constituidos por células epiteliales que contienen una gran cantidad de queratina. La queratina es una sustancia del grupo de las proteínas que tiene la propiedad de ser fibrosa e impermeable.

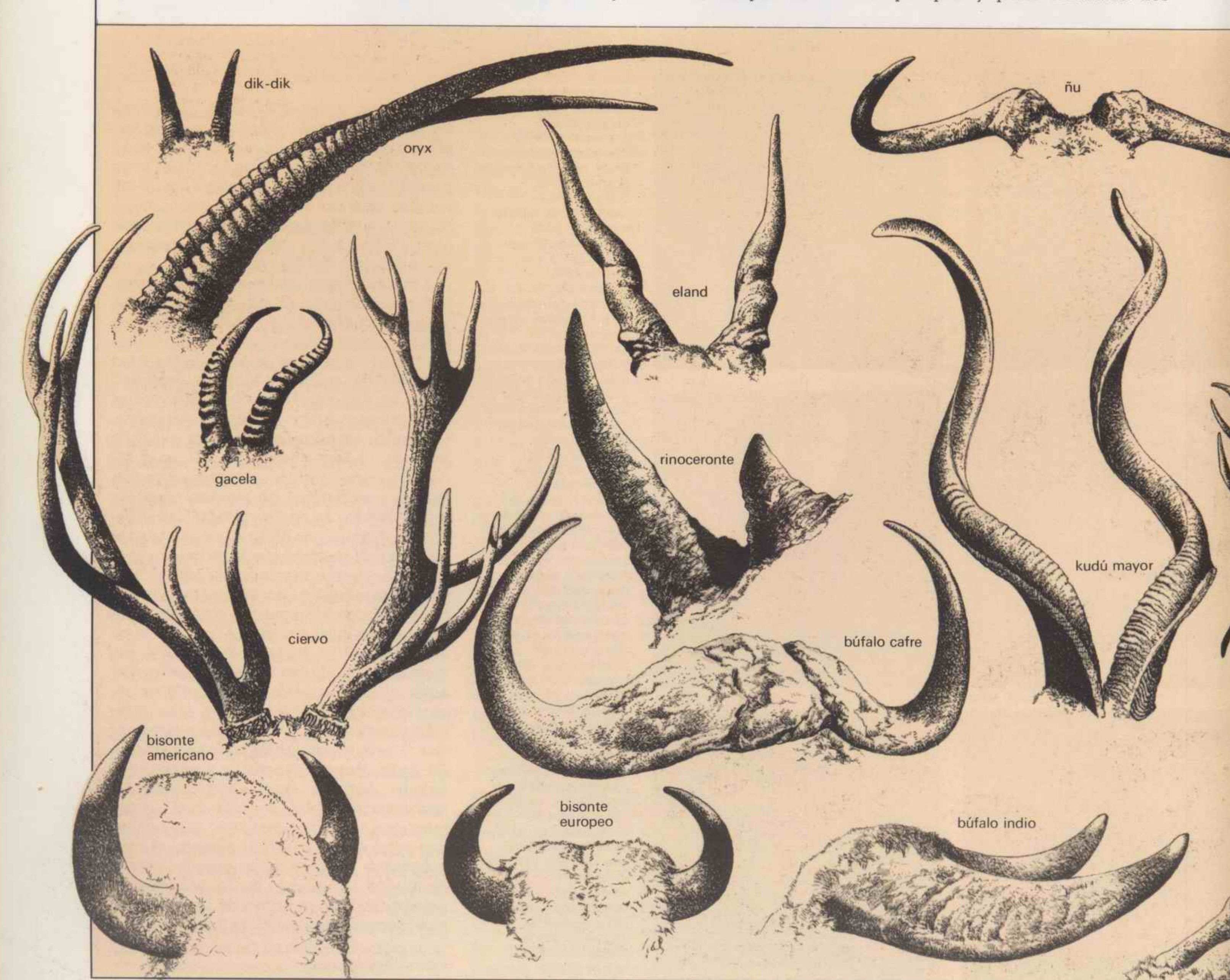
Los animales desarrollan sus propios pelos, plumas o cuernos a través de un proceso llamado *queratinización*, que se produce en el tejido epidérmico.

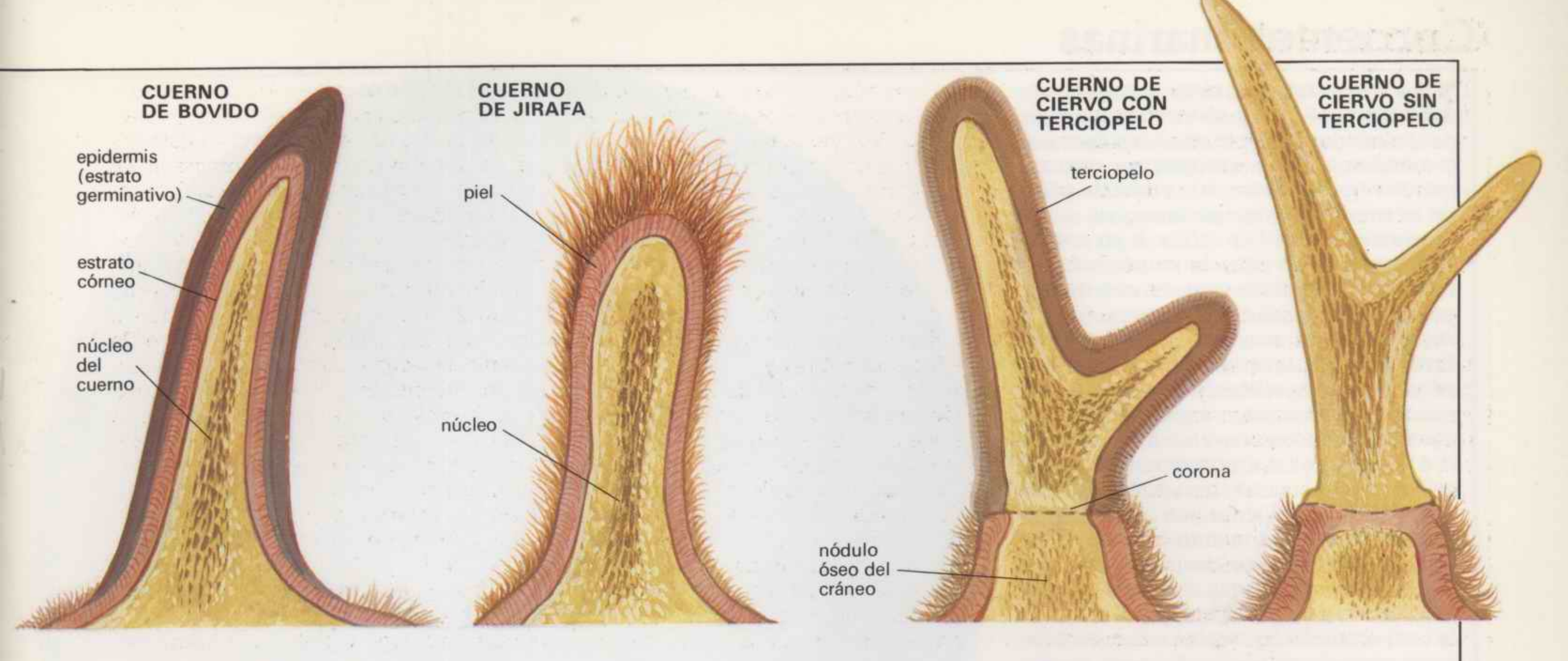
Distintas clases de cuernos Existen fundamentalmente dos tipos de cuernos: los que tienen un núcleo o "ánima" ósea interna y los desprovistos de dicho núcleo. El cuerno del rinoceronte es del primer tipo y está formado por fibras queratinizadas totalmente comparables a pelos que se hubieran fundido juntos para formar una masa sólida. Esta masa es extremadamente dura y consistente: un rinoceronte puede, de hecho, utilizar su cuerno para horadar una placa de metal.

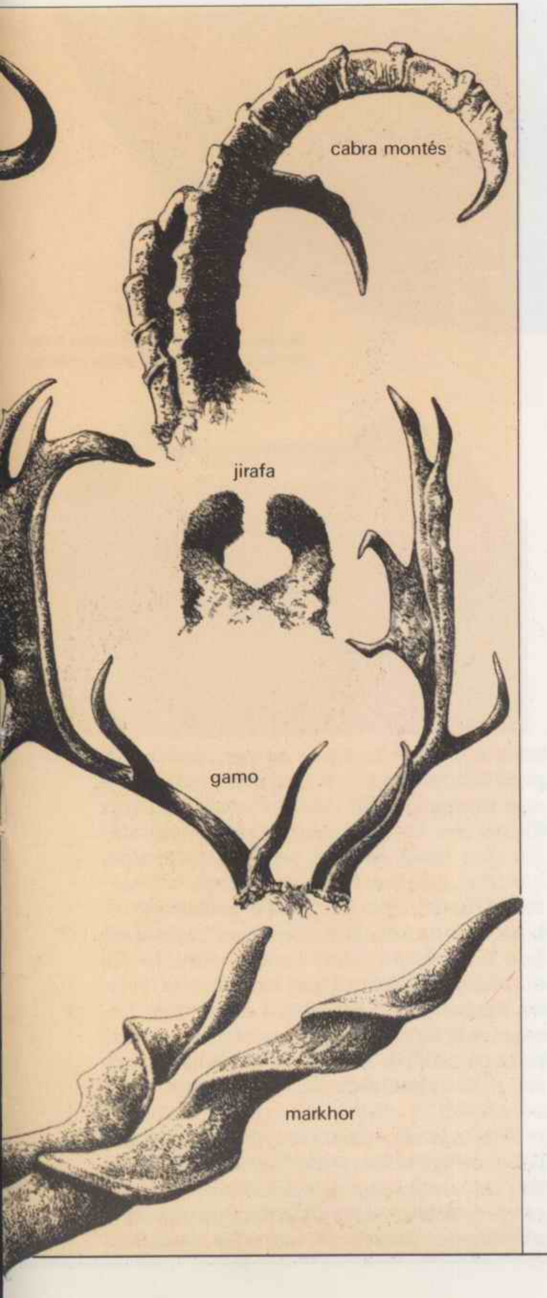
En cambio, animales como los bóvidos, los ovinos, las cabras y los antílopes presentan dos cuernos del segundo tipo. Se trata de cuernos huecos, sostenidos por un esqueleto óseo formado por extensión de los huesos de la frente. Así lo pone en evidencia el cráneo pelado de estos animales. Dichos cuernos varían enormemente en sus dimensiones, en su forma y en el dibujo superficial. En algunas especies de antílopes, sólo los machos tienen cuernos. En muchas otras especies de este grupo, ambos, machos y hembras, los poseen

La extensión ósea encerrada en el interior es conocida por el nombre de *processus corneus* o núcleo del cuerno. Este núcleo está cubierto por una membrana llamada *corion*, que segrega células destinadas a transformarse en células altamente queratinizadas. El continuo desarrollo del corion aumenta el tamaño del cuerno, tanto en longitud como en grosor. El cuerno es macizo hacia la punta, pero está hueco alrededor del núcleo. La mayor parte de los animales con cuernos huecos los conservan durante toda la vida. La única excepción está representada por el antílope cabra, que los pierde cada año. Se encuentran cuernos huecos permanentes en el camaleón de Jackson.

Los cuernos de las jirafas y de los ciervos realmente no son cuernos propiamente dichos. La jirafa tiene protuberancias óseas sobre la frente, que no están revestidas de tejido queratinizado sino recubiertas por piel y pelos normales. Los



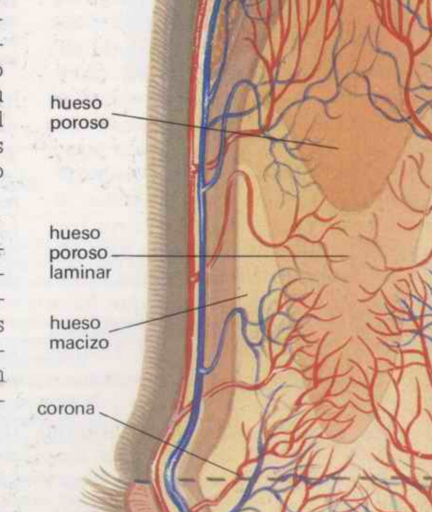




A la izquierda, algunos ejemplos de formas de cuernos de varios animales. Se puede ver que la variedad es enorme. Sólo en algunas especies está clara la función defensiva; en otras, como en el caso de los ciervos, los cuernos se utilizan en las luchas por el dominio de la manada o por la posesión de las hembras. Existen cuernos macizos y cuernos huecos. Los macizos están formados por un núcleo óseo que les confiere solidez, pero también aumenta su peso. Los cuernos huecos están formados por queratina y otras sustancias en proporciones menores. La queratina es la proteína que se encuentra en el pelo, en las escamas y en las uñas de muchos seres vivos. Los cuernos huecos, si se caen, no se regeneran, mientras que los macizos pueden hacerlo; en otras especies son caducos y se regeneran cada año, aunque generalmente no se trata de cuernos propiamente dichos. Los primeros animales con cuernos aparecieron ya en la era Secundaria y fueron los reptiles. Los ejemplares más majestuosos de cuernos del Mesozoico son los del gigantesco Triceratops. Arriba, secciones de distintos cuernos: a la izquierda, un cuerno de bóvido; se puede apreciar el estrato de epidermis a partir del cual se forma la capa que constituirá el cuerno. Tiene una forma hueca que le hace ligero sin dejar de ser robusto. Hay que notar que la estructura es fibrosa, lo que confiere una particular resistencia justo en la dirección en que es más útil. La segunda sección es la de un cuerno de jirafa, y las dos últimas, de cuernos macizos de ciervo. Finalmente, bajo estas líneas, muestra de sección de cuerno macizo, el único tipo que contiene un retículo de vasos para la circulación de la sangre.

cuernos de los ciervos, ramificados, son huesos expuestos al aire; crecen a partir de los huesos de la frente de los ciervos machos (aunque también están provistas de ellos las hembras de reno y caribú). En casi todos los casos, los cuernos se mudan, volviendo a crecer cada año. Durante su crecimiento, están protegidos y se nutren por una fina capa llamada *terciopelo*, piel ricamente vascularizada que se deseca cuando el cuerno se ha formado completamente. Cuando han alcanzado su máximo desarrollo, esta capa se seca y el ciervo se desprende de ella frotando los cuernos contra la corteza de los árboles o arbustos.

Cómo son utilizados los cuernos Aparentemente, dada la especial conformación de los cuernos, pueden parecer armas defensivas. Pero la mayor parte de los animales no los utiliza para combatir contra otros animales; parece ser que están más en relación con el ritual del apareamiento, en las luchas entre los machos.



Véase **Animal; Bóvidos; Evolución animal; Mamíferos**

Corrientes marinas

Las corrientes oceánicas son masas de agua que avanzan por las cuencas oceánicas de los hemisferios septentrional y meridional como enormes remolinos y con movimientos circulares durante miles de kilómetros. A menudo las aguas de las corrientes tienen un color ligeramente distinto al de las aguas circundantes, debido a las diferencias de densidad, temperatura y salinidad, haciendo que la corriente parezca un gran río en el océano. En el siglo XIX, uno de los primeros oceanógrafos, Matthew Maury, oficial de la Marina norteamericana, comparó el flujo del agua en el océano con la circulación de la sangre en el cuerpo humano. Escribió que las corrientes son las arterias de todo el Globo, y que distribuyen las aguas calientes y frías en el mundo. Las corrientes oceánicas más conocidas son las de circulación superficial, que alcanzan una profundidad media de 100 m, por debajo de la cual están las corrientes subsuperficiales, a menudo muy veloces, pero con recorridos distintos.

Las corrientes oceánicas son originadas principalmente por la acción del calor del Sol, el viento y la rotación de la Tierra. En el Ecuador el calor del Sol es más intenso y calienta el agua superficial, la cual se hace menos densa por la mayor temperatura y se separa claramente de las aguas frías profundas. Estas aguas ecuatoriales superficiales más cálidas tienden a dirigirse hacia los polos, donde el agua se enfría y se vuelve más densa —por tanto, más pesada—, descendiendo al fondo del océano desde donde se encamina lentamente hacia el Ecuador.

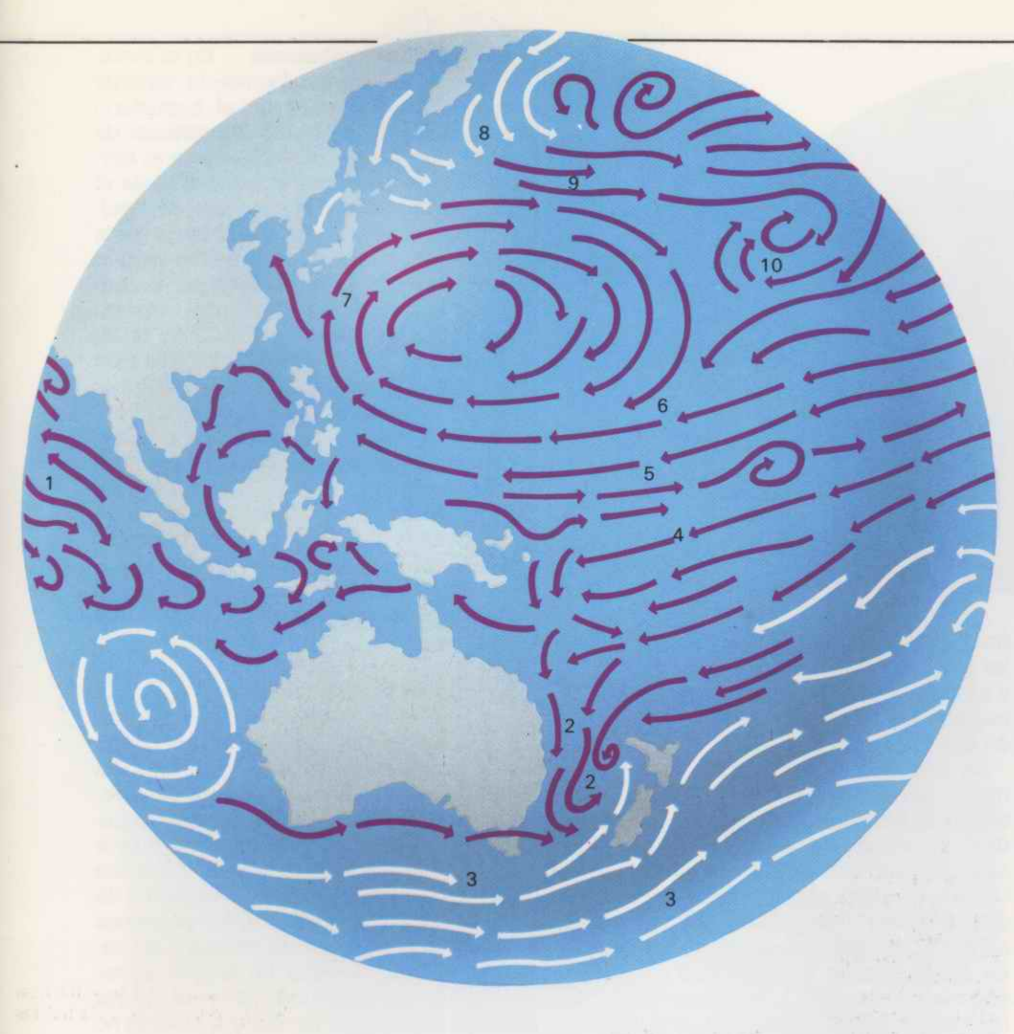
El Sol calienta la atmósfera de manera diferencial en función de la latitud, y las consiguientes diferencias de temperatura de la masa de aire generan los vientos. Así, en los trópicos se forman unos vientos constantes, que soplan hacia el Ecuador, donde, al incidir los rayos solares más directamente, calientan más la atmósfera, creándose una zona de calmas ecuatoriales: el aire por encima del mar se calienta, se expande y asciende en altura. Esta expansión crea una zona de bajas presiones. El aire tiende a ir desde las zonas de alta presión hacia las de baja presión, generándose los vientos. Puesto que el aire es más frío al norte y al sur del Ecuador, los vientos, si no fuese por la rotación constante de la Tierra hacia el este, convergerían en el Ecuador a lo largo de líneas dirigidas de norte a sur y de sur a norte. Una consecuencia del movimiento de rotación de la Tierra es la fuerza de Coriolis, o mejor dicho, el *efecto de Coriolis*, que hace que los vientos que se acercan al ecuador se desvíen hacia el oeste. Estos vientos, llamados alisios, convergen del noreste y sureste, y desplazan hacia el norte y el sur del Ecuador el agua superficial dirigida hacia el oeste. Estas masas de agua en movimiento forman las corrientes norte y surecuatoriales. Si en su recorrido no encontrasen tierra firme, girarían alrededor de la Tierra, corriendo hacia el oeste. En cambio, si la tierra firme las bloquea, corren hacia el norte en el hemisferio septentrional, formando movimientos circulares que giran en sentido horario, y hacia el sur en el hemisferio meridional, creando movimientos circulares en sentido antihorario. Las fuerzas de Coriolis que dirige los alisios influye también sobre esta desviación de las corrientes.

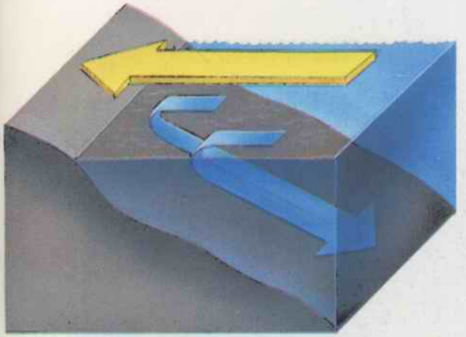
En los dos mapas están señaladas con flechas la dirección y la intensidad de las corrientes oceánicas superficiales. Algunas de esas corrientes son muy conocidas: baste recordar la del Golfo, que se ve en el hemisferio de la izquierda, y la de Humboldt, también en dicho hemisferio, a la izquierda de América meridional. A menudo la complejidad de la topografía submarina de los continentes hace que estas corrientes, en los márgenes, se fragmenten en innumerables remolinos. Estos se forman también por razones exclusivamente hidrodinámicas en aguas profundas. Hay que tener presente que las corrientes marinas, a diferencia de las de aire, pueden sufrir variaciones de intensidad durante las estaciones, pero no pueden invertir su movimiento. Junto a la dirección es también importante conocer la temperatura del agua.

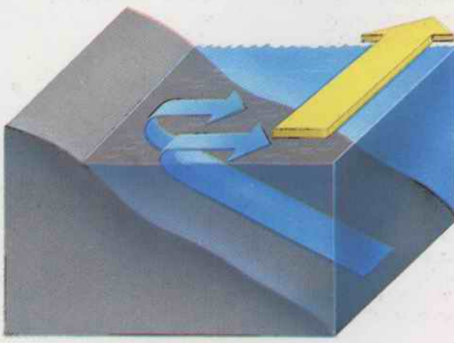
flechas blancas = corrientes frías
flechas rojas = corrientes cálidas

Efecto de la fuerza de Coriolis A causa de la fuerza de Coriolis, los vientos, el agua y los objetos del tipo de una bala de cañón disparada en el hemisferio septentrional tienden a torcerse, o a ser desviados, hacia la derecha, sea cual sea la dirección en que se estén moviendo. En cambio, en el hemisferio meridional se desvían hacia la izquierda. La causa de esos cambios es la rotación constante de la Tierra. He aquí algunos ejemplos para aclarar este concepto: si se observa el polo Norte desde un avión y se compara con el eje central de un tocadiscos y la Tierra con el disco, se verá que esta última gira hacia el este (en dirección antihoraria). Además, si se gira en sentido antihorario una hoja de papel mientras se dibuja en ella una línea recta, se observará que la línea se tuerce hacia la derecha. En el hemisferio meridional, invirtiendo nuestro modelo, el disco girará en sentido horario, y si se intenta trazar sobre él un arañazo recto, éste se torcerá hacia la izquierda, y lo mismo ocurre con las corrientes oceánicas.

Además de los alisios, que soplan hacia el oeste, la fuerza de Coriolis crea franjas de viento en dirección opuesta, llamadas *vientos de poniente* (vientos que vienen del oeste), en latitudes medias, a



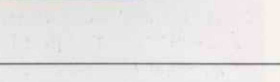




mitad de camino entre el Ecuador y los polos. La corriente circumpolar antártica, que gira alrededor del Antártico, está provocada fundamentalmente por los vientos de poniente.

Corrientes atlánticas En 1970 el explorador Thor Heyerdahl partió de Africa del Norte en una balsa llamada *Ra II* y siguió la corriente ecuatorial dirigida hacia el oeste hasta la isla de Barbados, en las Indias occidentales. Heyerdahl intentaba demostrar que las gentes de Africa podían ser transportadas fácilmente por la corriente a través del océano Atlántico hacia América. La corriente que él siguió se divide en dos después de haber alcanzado las islas del Caribe: una parte se dirige hacia el Golfo de Méjico, y la otra, en cambio, hacia el norte. En el Golfo de Méjico el agua se calienta y, puesto que se acumula a un nivel más alto en el extremo occidental del Golfo, corre hacia abajo y alcanza la corriente que se dirige hacia el norte, dándole el nombre de *corriente del Golfo*. La corriente del Golfo recorre las costas de América del Norte y luego se desplaza hacia el este, hacia Europa, en donde gira al sur y se convierte en la *corriente meridional de las islas Canarias*. Una parte del agua que viene de la corriente del Golfo sigue hacia el norte, pasando por Noruega, y llega al océano Artico. También otra rama septentrional forma una corriente hasta la costa de Groenlandia, desde donde luego vuelve al sur, llevando la fría agua ártica: conocida como *corriente del Labrador*. En medio del círculo noratlántico hay una zona de calma, rica en algas que flotan sobre la superficie, los sargazos, llamada por eso *mar de los Sargazos*. Hasta hace poco se creía que el agua caliente que provenía de la corriente del Golfo influía en el clima de algunas regiones de Europa septentrional, haciéndolo más templado. Ahora en cambio se piensa que los principales responsables de este fenómeno son los vientos cálidos que soplan hacia el este por encima del mar de los Sargazos.

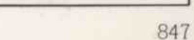
El conjunto de las corrientes del Atlántico Sur se mueve en sentido antihorario. La más fuerte es la *corriente de Benguela*, que lleva agua fría hacia el norte a lo largo de la costa africana. Esta corriente confluye en la corriente ecuatorial meridional dirigida hacia el oeste y se desplaza lue-



CORRIENTES OCEANICAS

1 corriente de la India sur-ecuatorial
2 corriente de Australia
3 deriva occidental
4 corriente del Pacífico sur-ecuatorial
5 contracorriente del Pacífico sur-ecuatorial
6 corriente del Pacífico nor-ecuatorial
7 corriente de Kuroshio
8 corriente de Oyashio
9 corriente del Pacífico septentrional
10 corriente de Alaska
11 corriente de California
12 corriente del Perú
13 corriente del Golfo
14 corriente del Labrador
15 corriente de Groenlandia oriental
16 corriente de Noruega
17 corriente del Atlántico septentrional
18 corriente del Atlántico nor-ecuatorial
19 corriente de las Canarias
20 contracorriente del Atlántico ecuatorial
21 corriente de Guinea
22 corriente del Atlántico sur-ecuatorial
23 corriente de Benguela
24 corriente de Brasil

Además de las corrientes marinas horizontales, hay que señalar la existencia de corrientes verticales. A veces se manifiestan en mar abierto, pero es más importante la dinámica de las que tienen lugar cerca de las costas. La secuencia central se refiere al hemisferio septentrional: el viento, cuando sopla hacia el mar, provoca el ascenso de las masas de agua, mientras que cuando sopla hacia la orilla provoca su hundimiento.





go hacia el sur a lo largo de la costa de América meridional, convirtiéndose en parte de la *corriente de Brasil.*

Corrientes del Pacífico En el océano Pacífico septentrional, la corriente ecuatorial septentrional corre hacia el oeste, guiada por los alisios, y sigue ininterrumpidamente durante 14.500 km. Luego las islas Filipinas la desvían y la mayor parte del agua se desplaza hacia el norte para formar la *corriente de Japón* o *de Kuroshio.* Cuando esta corriente se dirige hacia el norte, encuentra las aguas árticas de *Oyashio*, que corren hacia el sur desde el mar de Bering. En esta zona, en la que confluyen las corrientes cálida y fría, la niebla y las tempestades son dos fenómenos muy frecuentes. Después de haberse unido al este, la corriente de Kuroshio y la de Oyashio alcanzan la *corriente meridional de California*, a lo largo de la costa norteamericana, completando así el círculo.

En el océano Pacífico meridional, la *corriente del Perú* o *de Humboldt* lleva el agua fría del Antártico hacia el norte a lo largo de la costa de América meridional. Los vientos de tierra (alisios que soplan de sureste), que son bastante constantes, provocan la sustitución del agua superficial por aguas más profundas, ricas en nutrientes (fenómeno conocido como *upwelling*). El fitoplancton prolifera intensamente debido a la constante renovación de los nutrientes, y en consecuencia también los peces y crustáceos son muy abundantes. Grandes colonias de pelícanos, cormoranes de Bouganville y otras aves marinas se alimentan de estos animales. Sus excrementos, llamados *guano*, se acumulan en las islas que hay a lo largo de la costa peruana y se utilizan como fertilizantes, puesto que contienen gran cantidad de nitratos y fosfatos. El guano es de gran ayuda para obtener buenas cosechas en suelos desérticos. Las pocas y raras veces en las que la corriente de Humboldt entra en contacto con la de El Niño, una corriente cálida y lenta que se dirige hacia el sur, se daña gravemente la flora y la fauna marinas de la zona. El agua caliente destruye las plantas microscópicas, el fitoplancton, y en consecuencia, al faltarles el alimento, mueren enormes cantidades de peces y de aves.

La corriente de Humboldt alcanza la corriente sur-ecuatorial y se dirige hacia el oeste. En los años cincuenta, Thor Heyerdahl se sirvió de estas dos corrientes cuando, junto con su tripulación, partió de la costa peruana sobre la balsa *Kon-Tiki* y después de 101 días de navegación llegó a Tahití, demostrando así que los pueblos de América meridional podían haber llegado, en el pasado, a la Polinesia. La corriente ecuatorial meridional, después de haber atravesado el océano Pacífico, se dirige hacia el sur, a lo largo de la costa australiana y alcanza la corriente circumpolar antártica.

Efectos de los monzones En el océano Indico, el único movimiento circular completo se encuentra en el hemisferio meridional. En este punto *la corriente de Australia occidental*, dirigida hacia el norte, alcanza la corriente ecuatorial hacia el este, que se une con la *corriente de Agulhas* que corre hacia el sur a lo largo de la costa africana. Al norte no existe ningún movimiento circular completo, por la sencilla razón de que, si existiese, tal corriente sería bloqueada por la costa de la India. Además, y éste en un factor aún más importante, las corrientes presentes en el océano Indico septentrional están dominadas por los *monzones*. En invierno, sobre el continente sopla el alisio del continente —monzón de invierno—, frío y seco. En verano, el alisio del hemisferio Sur cruza el Ecuador y se desvía, convirtiéndose, por la fuerza de Coriolis, en viento del sureste —monzón de verano—, que sopla del mar a la tierra e invierte el sentido de la corriente.

Corrientes subsuperficiales La fuerza de las corrientes subsuperficiales, que están guiadas por los vientos, disminuye con la profundidad. Según un modelo llamado *espiral de Ekman*, propuesto por el oceanógrafo sueco Vagn Walfrid Ekman, cuanto mayor sea la profundidad, tanto mayor será la desviación que sufre la corriente en su dirección por efecto de la fuerza de Coriolis. Hasta un cierto nivel podemos imaginar una especie de escalera de caracol formada de agua en la que la corriente circula en sentido inverso. En los océanos con fondos profundos, el agua no sigue exactamente el esquema de la espiral de Ekman, aunque se hayan descubierto unas corrientes que circulan en sentido contrario. Por ejemplo, mientras





La más estudiada de las corrientes marinas es, ciertamente, la corriente del Golfo, que en la página anterior, abajo, se muestra tomada desde satélite. Muchas son las causas de las corrientes: el empuje del viento, las mareas, el efecto de Coriolis y el gradiente de presión, todo ello ligado a diferencias de temperatura y salinidad.
Sobre cada partícula de agua operan, antagónicamente, la fuerza de gravedad y la de Coriolis, que dan lugar a una corriente circular llamada *geostrófica*. En la región central de estos circuitos, las masas de agua son estables: un ejemplo típico es el mar de los Sargazos (página anterior, arriba).
La figura de la izquierda pone en evidencia el hecho de que hay movimientos opuestos a varios niveles. En azul oscuro están indicadas las aguas con alto grado de salinidad, y en verde, las que tienen un grado de salinidad menor. El contenido en sales determina movimientos verticales, puesto que proporciona al agua diferentes densidades. Aguas superficiales densas sobre aguas ligeras tienden a descender y a hacer subir a las segundas. La diferencia de densidad puede también ser a causa de diferencias de temperatura; las aguas frías tienden a bajar.
La sección del estereograma de la izquierda cruza el océano Atlántico en dirección norte-sur. Se puede ver el contorno de los continentes africano y europeo. Es evidente la salida del agua con mayor grado de salinidad desde el estrecho de Gibraltar, que tiende a bajar y a dirigirse hacia el sur en la llanura abisal.
La contracorriente a media profundidad diluye estas aguas de elevada salinidad.

que la *corriente de Brasil* se dirige hacia el sur a lo largo de la costa de América meridional, una corriente que circula en sentido inverso, a una profundidad de 3.500 m, se dirige hacia el norte. En el Pacífico se ha descubierto, en el interior de la corriente ecuatorial meridional, una corriente que circula en sentido inverso, a una profundidad comprendida entre los 45 y los 90 m. Esta corriente, llamada *corriente de Cromwell*, se mueve hacia el este con una velocidad mayor que la de la corriente superficial.

Las corrientes subsuperficiales se siguen aún estudiando para poder elaborar un mapa geográfico que las recoja. Algunas de ellas pueden ser consecuencia de desplazamientos de agua fría proveniente de los océanos polares a lo largo del fondo oceánico. Otras, en cambio, pueden formarse a causa de las diferencias de salinidad. Cuando la cantidad de sal que hay en el agua aumenta, el agua salada, que es más pesada, baja al fondo, igual que sucede con el agua fría. En el mar Mediterráneo la cantidad de agua que se evapora no se compensa con el aporte de agua fresca o de lluvia, y así el agua más salada desciende al fondo. En el estrecho de Gibraltar una corriente formada de agua fría salada se desplaza hacia el Atlántico, mientras que por encima de ella el agua superficial, menos salada, penetra en el Mediterráneo.

Durante la II Guerra Mundial, los submarinos alemanes aprovechaban esta corriente profunda para salir del Mediterráneo sin poner en marcha los motores, evitando así ser descubiertos.

Véase **Oceanografía; Viento**

Corrimientos de tierras

En la *Divina Comedia*, Dante describió los efectos catastróficos de un desprendimiento de tierras que tuvo lugar en 1283 en Italia. Este desastre enterró una ciudad entera y, a causa de la obstrucción del río Adigio, dejó a Verona sin agua durante un cierto período de tiempo. Asimismo, en la crónica de un obispo de Lausana queda testimonio de otro desprendimiento aún más lejano en el tiempo, acaecido el año 536. El deslizamiento de la ladera del monte Tauretanum provocó sobre el lago de Ginebra un enorme oleaje que destruyó pueblos enteros que habían surgido en sus orillas.

La posibilidad de que la ladera de una montaña o de una colina se deslice depende de multiples factores, entre los cuales destaca el tipo y la estructura de la roca subyacente, el ángulo de pendiente, la naturaleza del terreno y de la capa detrítica superficial (el suelo), el clima, las condiciones hidrogeológicas en profundidad, la edad de la ladera y naturalmente las propias modificaciones provocadas por el hombre.

El derrumbamiento de una ladera puede ser muy rápido: en esos casos el movimiento de tierras recibe el nombre de *desprendimiento*, término que generalmente se aplica al caso de materiales secos, rocas o detritus, y no al de la tierra mezclada con agua. Este último fenómeno se llama con más propiedad *flujo*, mientras que el desprendimiento violento de hielo y nieve constituye una *avalancha*.

Cuando una causa cualquiera (sea natural o provocada por el hombre) altera la estabilidad de una pendiente, la capa de material suelto superficial se separa de su substrato y cae o resbala hacia abajo. Este tipo de causas (terremotos, lluvias torrenciales o actividades humanas) interacciona con los factores antes mencionados y determina con ellos la cantidad de material que interviene en el deslizamiento, así como el tipo y velocidad del mismo.

Tipos de desprendimiento Veamos seguidamente varios tipos de desprendimiento según sus distintas características.

El *deslizamiento gravitatorio* (*slumping*) afecta a material poco cohesionado, en su mayoría arcillas y rocas arcillosas. Tiene lugar en laderas, sobre todo en los valles de cursos fluviales o a orillas del mar, y es frecuente, de manera particular, en las costas de California, en Inglaterra, en Noruega y en los valles fluviales de algunas zonas de los Estados Unidos y de la Unión Soviética. En general, pero no siempre, el movimiento de rocas y de detritus sueltos por este mecanismo es lento. La superficie de un deslizamiento gravitatorio tiene una forma característica cóncava, y el deslizamiento del material forma bloques inclinados sobre la pendiente con la masa desprendida acumulada a sus pies. Entre los bloques inclinados se forman a menudo pequeños lagos, que aumentan ulteriormente la inestabilidad de la ladera. Cuando el *pie* (la base de la pendiente) sufre un trastorno de cualquier clase, este



En el desprendimiento en forma de escamas, terrenos no coherentes con fuertes pendientes resbalan hacia abajo en grandes masas, dejando un nicho, llamado *nicho de arranque*, cuyas paredes pueden ser incluso más verticales que la pendiente anterior, con lo que el peligro de desprendimiento se repite si no se efectúan protecciones adecuadas.

Las coladas de barro son típicas en terrenos formados por arcillas. Las infiltraciones de agua, sobre todo como consecuencia de largas lluvias, impregnan la arcilla, haciéndola casi tan móvil como un líquido.

El desprendimiento por deslizamiento tiene lugar en terrenos rocosos en los que los estratos son paralelos, o casi, a la pendiente (más exactamente, van "en el sentido de la inclinación"). También en estos casos el desprendimiento deja una línea de despegue, desde la que pueden desprenderse nuevas masas de roca.

El desprendimiento por desplome se produce cuando masas de rocas coherentes apoyan sobre una masa de rocas menos duras y más fácilmente erosionables; la erosión de estas últimas deja sin soporte a las que están encima, que, por tanto, se derrumban. Esto aumenta la intensidad erosiva sobre la roca inferior y por lo tanto la amenaza se prolonga.

tipo de pendientes puede experimentar a menudo corrimientos de material.

Los *deslizamientos de detritus*, en cambio, afectan solamente a la zona superficial de una ladera y no al substrato rocoso. Se trata de movimientos de masa más bien pequeña, generalmente poco veloces, que a menudo suceden a grandes precipitaciones de lluvia que lubrican la superficie del lecho rocoso y facilitan el deslizamiento de los detritus. Del mismo modo que las raíces de los árboles y otras formas de vegetación mejoran la estabilidad de las pendientes, la deforestación puede facilitar el que se produzca este tipo de desprendimiento. Por otra parte, el deslizamiento de detritus sólo tiene lugar en el caso de laderas con una inclinación acentuada, en las que los materiales pueden desprenderse con gran facilidad.

El *deslizamiento de masas rocosas* es el tipo más destructivo de corrimiento, a causa de su rapidez y de sus dimensiones. En 1965, un desprendimiento de este tipo en los Montes Cascadas (Canadá) produjo la caída de 140 millones de toneladas de roca sobre una autopista, sepultando a tres vehículos en marcha. Los deslizamientos de rocas tienen lugar cuando las fallas y las fisuras del substrato rocoso son "reactivadas" por alguna causa, provocando el deslizamiento de grandes masas de materiales y de rocas superficiales que —si la pendiente es muy acentuada— alcanzan velocidades elevadas. Dado que el deslizamiento de rocas es debido a movimientos del substrato rocoso subyacente, resulta a menudo difícil poder prever la estabilidad de una ladera en casos de este tipo, y ésto, naturalmente, aumenta de manera considerable el peligro potencial de tales desprendimientos.

Las *caídas de rocas*, en cambio, no son nada más que desprendimientos relativamente libres de partes del substrato rocoso, que se desploman desde la zona más alta y sobresaliente de un acantilado o de una ladera de pendiente acentuada. La estabilidad de esos acantilados y laderas se evalúa por su estructura visible. Las caídas de rocas tienen lugar generalmente desde las partes altas de acantilados cuyas bases han sido socavadas por la constante acción erosiva del mar o de la corriente de un río, y constituyen un peligro para las carreteras construidas en zonas montañosas.

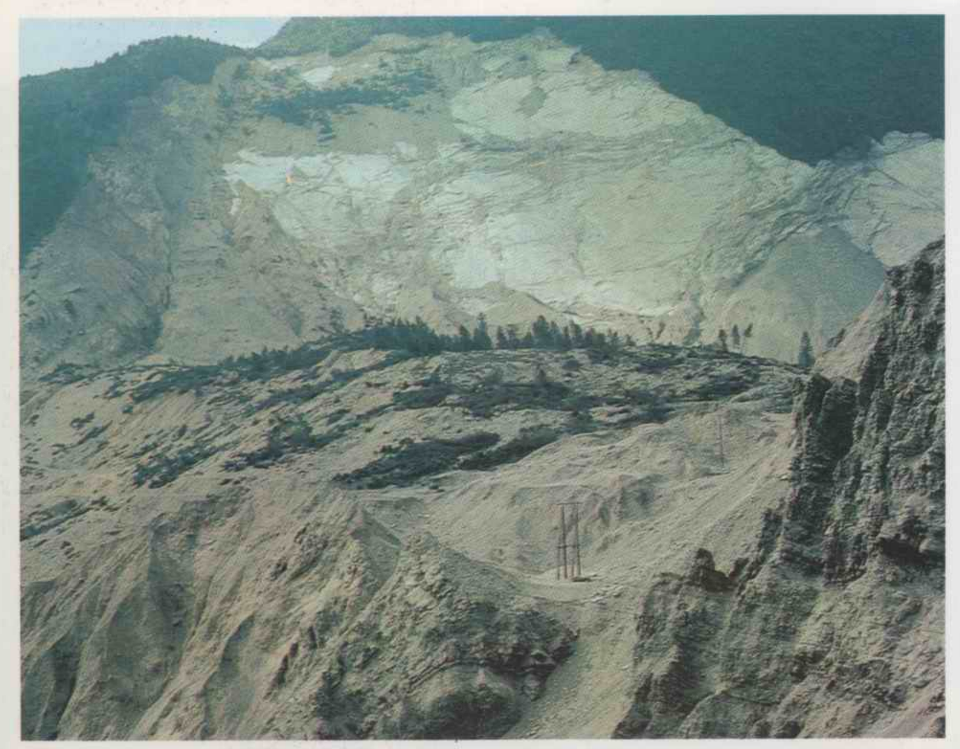


Medidas de prevención Con el incremento de las construcciones, de las actividades mineras y de la deforestación, el medio natural está siendo cada vez más modificado, lo que aumenta las situaciones favorables a los desprendimientos.

De todas formas, el avance de los estudios de Geofísica ha permitido que ingenieros y científicos comprendan mejor las causas de los desprendimientos y puedan prever con cierta antelación dónde se van a producir.

Así, han adquirido importancia las medidas preventivas consistentes en la construcción de muros de contención, mejoras en el drenaje y retirada de los materiales inestables, aunque por el momento es imposible prever con exactitud dónde podrá producirse un próximo desprendimiento.

Véase **Erosión**



Arriba, una carretera protegida, mediante obras de retención, del peligro de aludes y de pequeños desprendimientos por desplome y deslizamiento. En ella pueden verse, a la derecha, grandes retículos de hormigón para la prevención de desprendimientos por deslizamiento y desplome. Al borde de la carretera, en primer plano a la derecha, una protección consistente en un grueso y pesado muro continuo para la prevención de pequeños desprendimientos en forma de escamas, que son posibles puesto que para la construcción de la carretera ha sido necesario hacer excavaciones. A la izquierda, pared del monte Toc desde la cual, en 1963, descendió el desprendimiento que invadió la cuenca del Vajont causando millares de muertos.

Corrosión

La corrosión se suele considerar como un efecto negativo, debido a que en la mayor parte de los casos es destructiva. Sin embargo, existe también "corrosión constructiva": cuando se ocasiona voluntariamente una reacción química en la superficie de un metal, como, por ejemplo, en la producción del *minio*, donde la materia química (plomo metálico) se oxida, o lo corroe el oxígeno, para convertirse en el pigmento rojizo de óxido de plomo. La corrosión de las superficies metálicas sigue reglas fijas, por lo que se pueden llevar a cabo procesos de este tipo para obtener productos químicos útiles, a condición de controlar los tiempos y cantidades para evitar productos no deseados.

Las formas normales de corrosión, como la formación de orín o herrumbre en el hierro cuando se oxida, se producen por dejadez ante estos procesos, que al no encontrar métodos de protección que lo impida pueden causar graves daños. Dos ejemplos de corrosión muy conocidos son las escamas del acero calentado y la herrumbre (óxidos de hierro hidratados) cuando este elemento se expone al aire húmedo.

Tipos de corrosión Es necesario decir que los metales son inestables por naturaleza, debido a que tienen pocos electrones en la última capa atómica. Esto origina una reactividad considerable frente a los agentes del ambiente, reacción que, produce en principio una capa superficial muy fina. Cuando esa capa se rompe y se vuelve a formar sucesivamente, se produce el proceso de corrosión.

Una de las causas de la corrosión de los metales es la *oxidación directa* (combinación de un elemento químico con el oxígeno) que se produce en la superficie del aluminio, hierro o cobre a temperaturas normales y con aire seco. La oxidación forma una película de óxido sobre el metal, que en el caso del aluminio y sus aleaciones lo protege del oxígeno atmosférico y frena el proceso de oxidación.

Existe otro tipo de corrosión, producida por los líquidos, que se llama *corrosión líquida*. El ritmo de ataque a los metales por agua pura y oxígeno es lento, mientras que si el agua contiene sales disueltas el proceso es más rápido y conlleva una *corrosión electroquímica* (corrosión de un metal debida a la electricidad que circula por un electrólito o compuesto químico conductor). Corrosión de este tipo se produce con el agua de mar, que tiene una gran cantidad de sales disueltas. La corrosión completa del metal origina la rotura del mismo debido a que el óxido tiene una estructura muy débil que va suplantando a la del metal.

La *corrosión atmosférica* tiene propiedades simétricas respecto a la corrosión líquida. En esta última el ritmo de corrosión crece con la cantidad de oxígeno disuelto en el agua, favoreciéndose aún más si el agua contiene sales disueltas (iones). A su vez, en la corrosión atmosférica la velocidad de corrosión aumenta con la cantidad de vapor de agua presente en la atmósfera. También la oxidación al aire libre es más rápida que en recinto cerrado, porque uno de los reactivos, el oxígeno, se renueva.

Para explicar el mecanismo de la oxidación del hierro en atmósfera húmeda, se parte de que un punto vulnerable de la superficie de una pieza de hierro puede comportarse en un momento dado como ánodo (polo eléctrico positivo) y algún átomo de hierro próximo le cede electro-

cátodo
aire
OH^-
$Fe(OH)_2$
Fe^{2+}
ánodo
agua
electrones
herrumbre

Los electrones que se liberan de los átomos neutros de hierro suben a la superficie agua/aire, donde forman parte de la reacción entre agua y oxígeno; así se forman iones oxhidrilos que reaccionan con iones hierro, formándose hidróxido ferroso y después herrumbre.



La corrosión es el enemigo de cualquier metal, por lo que se hacen grandes esfuerzos para encontrar remedios, sobre todo en la composición de los materiales destinados a una utilización prolongada al aire libre, en contacto con el aire y el agua. En la foto, un investigador observa la superficie de un metal en la pantalla de un microscopio para metalurgia.

nes: $Fe - 2e^- \rightarrow Fe^{++}$ El proceso se detiene si los electrones liberados no son eliminados. Como el hierro es conductor, los electrones "emigran" a un punto próximo de la superficie en presencia de oxígeno y agua (aire húmedo), realizándose una reducción: $1/2\ O_2 + H_2O + 2e^- \rightarrow 2OH^-$. El resultado es la producción de Fe^{++} y $2OH^-$ que forman el hidróxido de hierro (II) que a su vez sufre una nueva oxidación y se transforma en hidróxido de hierro (III), es decir, la herrumbre u orín.

El proceso de corrosión de un objeto de hierro sumergido en agua, según se indica en el grabado, es muy parecido al anterior.

Algunos productos gaseosos derivados de la combustión del carbón atacan fácilmente a los metales. Por eso los mayores daños por corrosión en los objetos expuestos al aire se presentan en las ciudades industriales. En las zonas marítimas la corrosión atmosférica también es fuerte, debido a la humedad del aire y al elevado contenido en sales del vapor de agua.

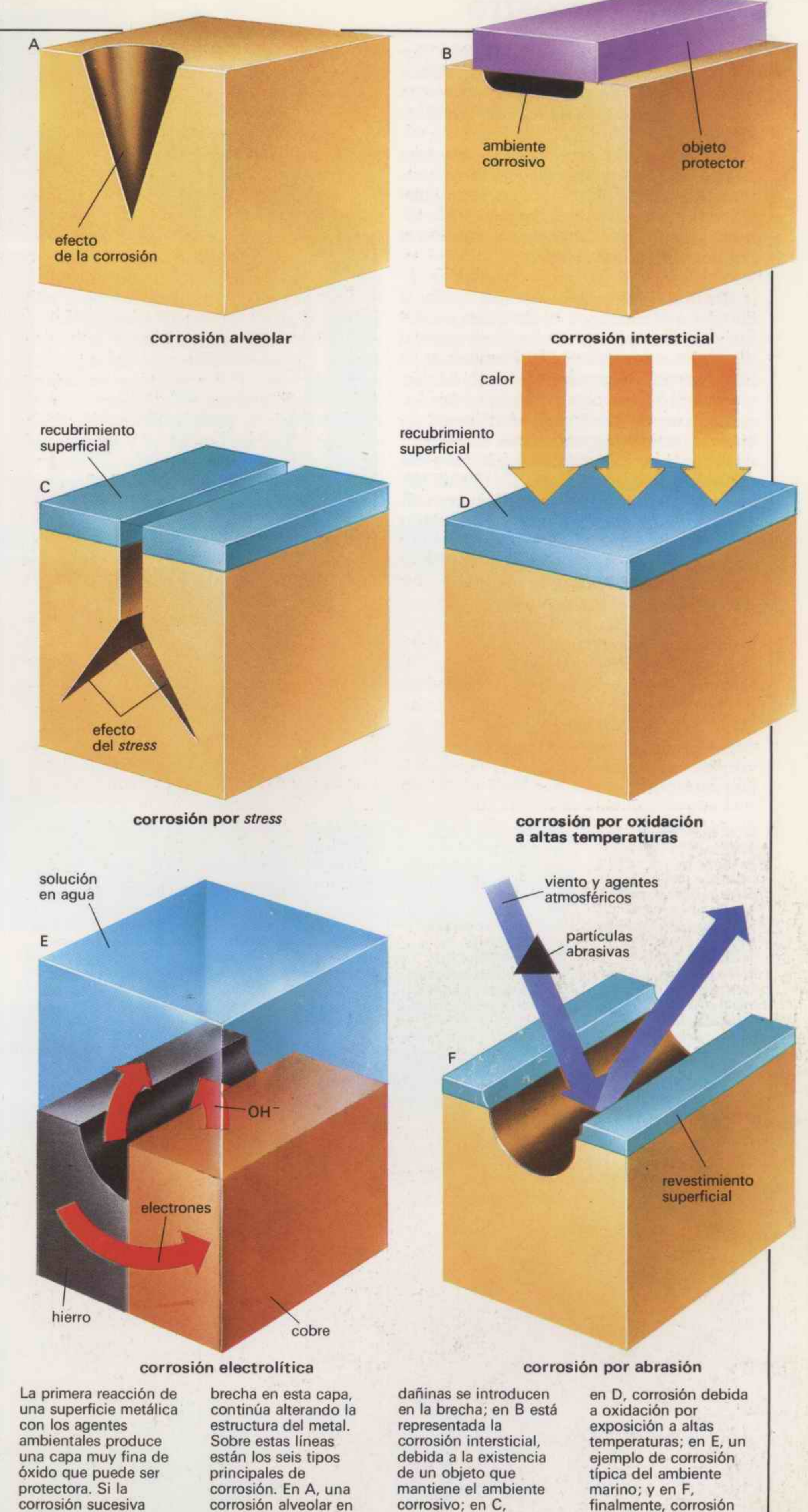
El hierro y el acero se oxidan más fácilmente que otros metales. Entre los metales no ferrosos el más resistente es el cinc. También lo es el acero inoxidable, una aleación de hierro, níquel y cromo que ofrece una gran resistencia a la corrosión

En cualquier caso, el aumento de temperatura acelera el ritmo de corrosión en las superficies metálicas.

Metales anticorrosivos La corrosión puede ocasionar grandes pérdidas económicas, especialmente en las zonas con fuerte concentración de sustancias corrosivas en la atmósfera. El revestimiento es el proceso normal de protección para los metales, incluso cuando están enterrados, como en los oleoductos, que necesitan una protección contra los agentes químicos del suelo. Los recubrimientos más eficaces en estos casos son los plásticos y las pinturas que tienen óxidos de plomo, como el minio. También son eficaces los recubrimientos con metales que resisten la corrosión, como la aleación cromo-níquel, el galvanizado del hierro (recubrimiento electrolítico con cinc) y los cromados. La formación de óxidos permanentes del propio metal en la superficie del mismo impide la ulterior oxidación. Tal es el caso de los motores de las turbinas de gas, sometidos a gases corrosivos a altas temperaturas, y el aluminio anodizado. En la actualidad se intensifica la investigación del óxido de aluminio, de la sílice y de sustancias análogas en cerámica, como los materiales de construcción, que pueden emplearse en sustitución de las aleaciones de hierro y níquel en ambientes expuestos a la corrosión a alta temperatura.

La corrosión es un enemigo silencioso y temible de todos los materiales metálicos y se están haciendo continuos esfuerzos de investigación para encontrar, al menos en parte, nuevas soluciones.

Véase **Acero; Aleación; Aluminio; Cinc; Hierro; Oxidos**.



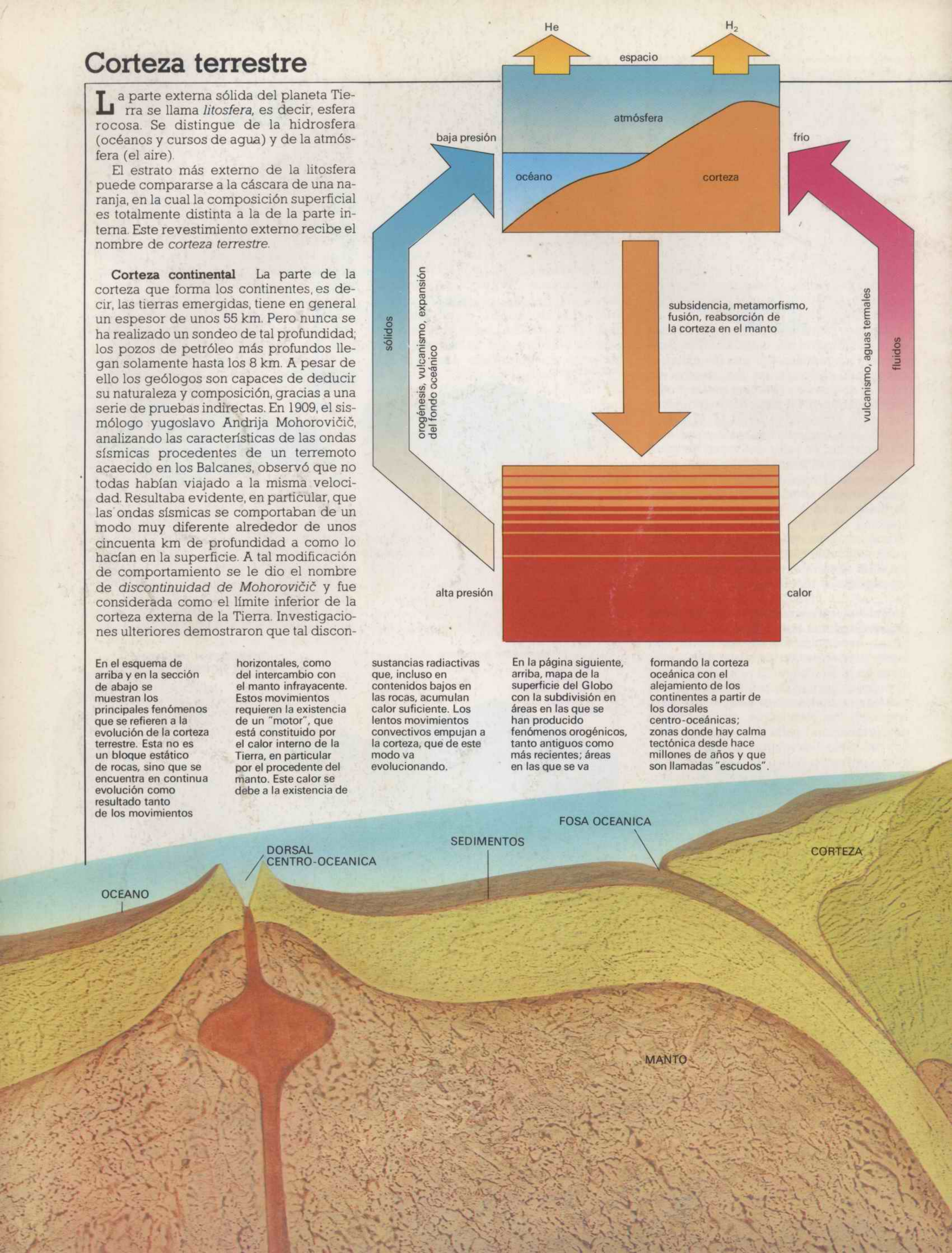
La primera reacción de una superficie metálica con los agentes ambientales produce una capa muy fina de óxido que puede ser protectora. Si la corrosión sucesiva es capaz de abrir una brecha en esta capa, continúa alterando la estructura del metal. Sobre estas líneas están los seis tipos principales de corrosión. En A, una corrosión alveolar en la que las sustancias dañinas se introducen en la brecha; en B está representada la corrosión intersticial, debida a la existencia de un objeto que mantiene el ambiente corrosivo; en C, corrosión por *stress*: en D, corrosión debida a oxidación por exposición a altas temperaturas; en E, un ejemplo de corrosión típica del ambiente marino; y en F, finalmente, corrosión por abrasión.

Corteza terrestre

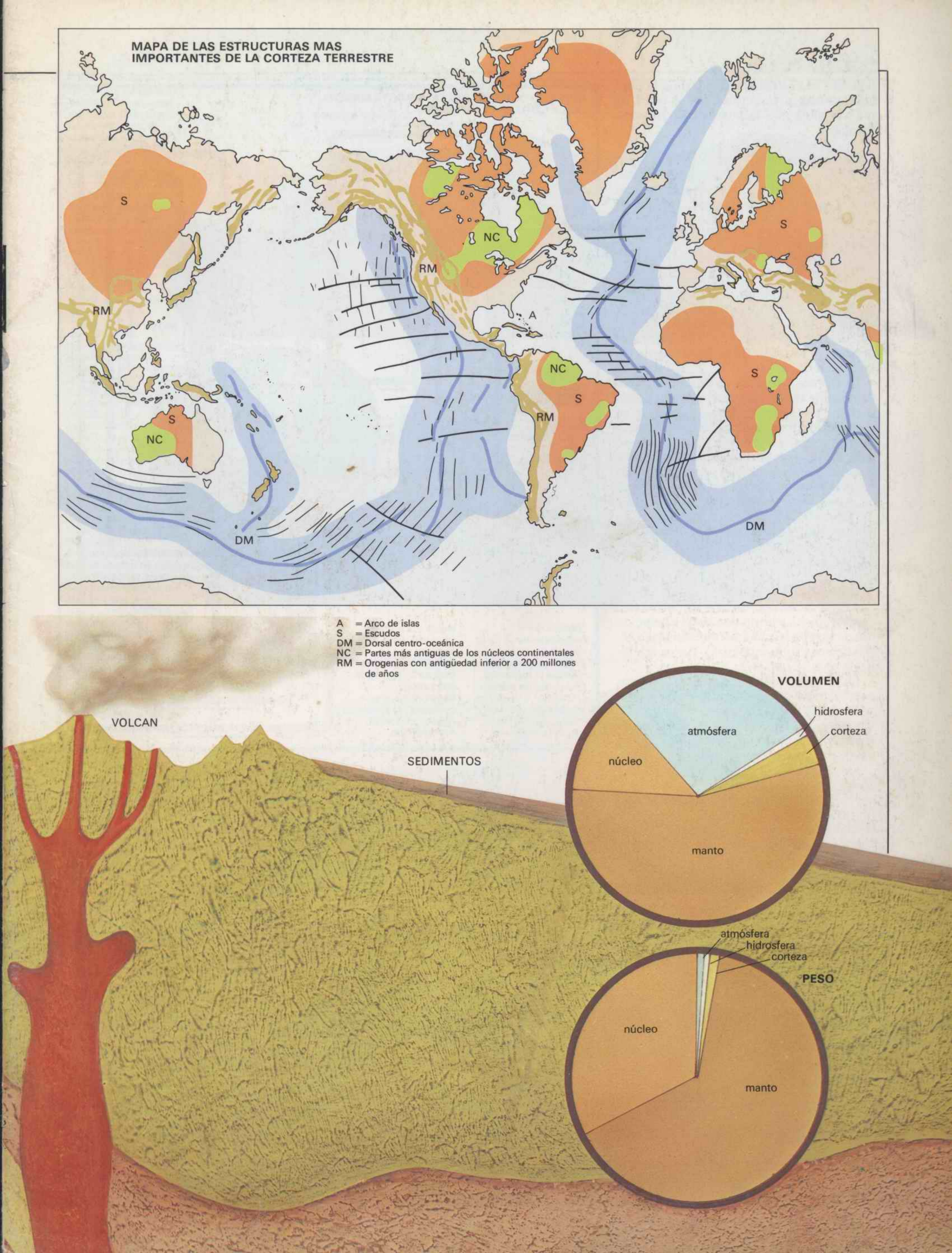
La parte externa sólida del planeta Tierra se llama *litosfera*, es decir, esfera rocosa. Se distingue de la hidrosfera (océanos y cursos de agua) y de la atmósfera (el aire).

El estrato más externo de la litosfera puede compararse a la cáscara de una naranja, en la cual la composición superficial es totalmente distinta a la de la parte interna. Este revestimiento externo recibe el nombre de *corteza terrestre*.

Corteza continental La parte de la corteza que forma los continentes, es decir, las tierras emergidas, tiene en general un espesor de unos 55 km. Pero nunca se ha realizado un sondeo de tal profundidad; los pozos de petróleo más profundos llegan solamente hasta los 8 km. A pesar de ello los geólogos son capaces de deducir su naturaleza y composición, gracias a una serie de pruebas indirectas. En 1909, el sismólogo yugoslavo Andrija Mohorovičić, analizando las características de las ondas sísmicas procedentes de un terremoto acaecido en los Balcanes, observó que no todas habían viajado a la misma velocidad. Resultaba evidente, en particular, que las ondas sísmicas se comportaban de un modo muy diferente alrededor de unos cincuenta km de profundidad a como lo hacían en la superficie. A tal modificación de comportamiento se le dio el nombre de *discontinuidad de Mohorovičič* y fue considerada como el límite inferior de la corteza externa de la Tierra. Investigaciones ulteriores demostraron que tal discon-



En el esquema de arriba y en la sección de abajo se muestran los principales fenómenos que se refieren a la corteza terrestre. Esta no es un bloque estático de rocas, sino que se encuentra en continua evolución como resultado tanto de los movimientos horizontales, como del intercambio con el manto infrayacente. Estos movimientos requieren la existencia de un "motor", que está constituido por el calor interno de la Tierra, en particular por el procedente del manto. Este calor se debe a la existencia de sustancias radiactivas que, incluso en contenidos bajos en las rocas, acumulan calor suficiente. Los lentos movimientos convectivos empujan a la corteza, que de este modo va evolucionando. En la página siguiente, arriba, mapa de la superficie del Globo con la subdivisión en áreas en las que se han producido fenómenos orogénicos, tanto antiguos como más recientes; áreas en las que se va formando la corteza oceánica con el alejamiento de los continentes a partir de los dorsales centro-oceánicas; zonas donde hay calma tectónica desde hace millones de años y que son llamadas "escudos".


MAPA DE LAS ESTRUCTURAS MAS IMPORTANTES DE LA CORTEZA TERRESTRE
S
RM
NC
A
DM
A = Arco de islas
S = Escudos
DM = Dorsal centro-oceánica
NC = Partes más antiguas de los núcleos continentales
RM = Orogenias con antigüedad inferior a 200 millones de años
VOLCAN
SEDIMENTOS
VOLUMEN
atmósfera
hidrosfera
corteza
núcleo
manto
PESO
atmósfera
hidrosfera
corteza
núcleo
manto

tinuidad es bastante menos profunda bajo los océanos, cuya corteza, por lo tanto, es más delgada que la situada bajo los continentes.

Corteza oceánica La corteza que se encuentra debajo del fondo oceánico difiere bastante de la continental. Parece que ningún punto de la misma tiene una antigüedad mayor de 200 millones de años, y la datación, realizada mediante el análisis de la desintegración radiactiva débil de algunos elementos, demuestra que la corteza oceánica se hace progresivamente más joven al acercarse a la dorsal medio-oceánica. Esta dorsal constituye una enorme cadena submarina con un surco central a modo de gran cremallera que discurre a lo largo de la línea media de cada océano.

La corteza oceánica es bastante delgada (menos de 1,5 kilómetros) en la proximidad de la dorsal centro-oceánica, y se engrosa progresivamente al ir alejándose de ella en ambas direcciones. La roca está muy caliente en la zona del surco central y va enfriándose cuanto más se aleja del mismo. Parece como si la corteza oceánica, cuanto más se enfría, más se engrosa: en las partes más antiguas se alcanza un espesor de 8 a 16 kilómetros, aunque sigue siendo mucho menor que el de la corteza continental.

Evolución de la corteza Según la teoría de la tectónica de placas, la corteza continental ha sufrido una larga evolución desde que se formara el revestimiento sólido más antiguo cuando la Tierra era todavía muy joven.

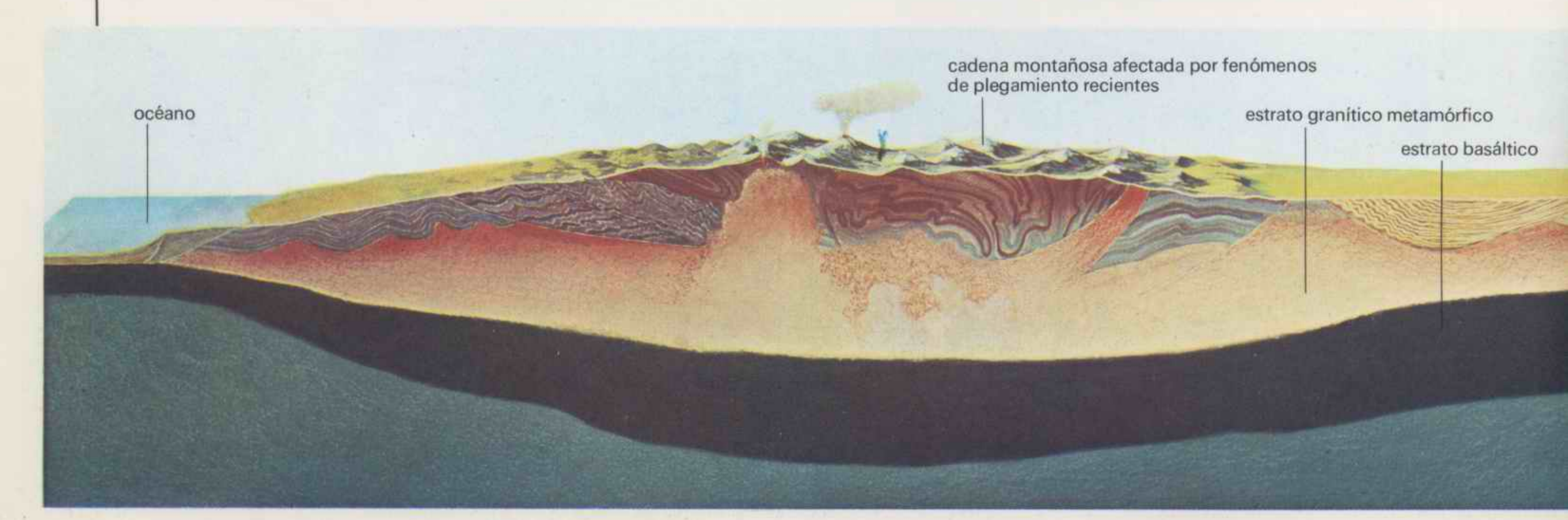
En el curso de la historia del planeta, esta corteza se ha fracturado en varias ocasiones y se ha deslizado lateralmente, mientras que en las zonas de fractura abiertas una nueva corteza oceánica iba ocupando su puesto.

MODELO QUIMICO DEL COMPORTAMIENTO DE LA CORTEZA TERRESTRE

Modelo del comportamiento de la corteza terrestre. Es un modelo químico, que muestra la existencia de fuentes de materia (el manto) y un punto de concentración (el mismo manto); en el centro la materia es elaborada por un "reactor". Esto significa que las transformaciones de la materia de la corteza son también transformaciones químicas y que están sujetas a las leyes del equilibrio.

Debajo de los océanos, en las profundidades de la Tierra, tiene lugar un lento movimiento de materiales, que se desplazan originando corrientes de convección. Se puede observar de manera muy simple este fenómeno calentando en un hornillo un recipiente lleno de agua y observando el flujo de burbujas sobre la superficie, desde el centro de la cacerola hasta los bordes. Más o menos del mismo modo las partes más antiguas de la corteza oceánica se alejan gradualmente de la dorsal centro-oceánica hacia la corteza continental, donde se reintroducen en el manto. Este es un proceso sin fin y en cierto modo comparable a la continua regeneración de la materia viva. Lo que es hoy el fondo oceánico, en un período de unos 200 millones de años irá siendo transportado de los bordes oceánicos hacia el interior, para ser fundido y reincorporarse al manto. Será así sustituido por la lava arrojada en la fractura medio-oceánica que asciende por convección desde el manto.

Véase **Núcleo terrestre; Tierra**

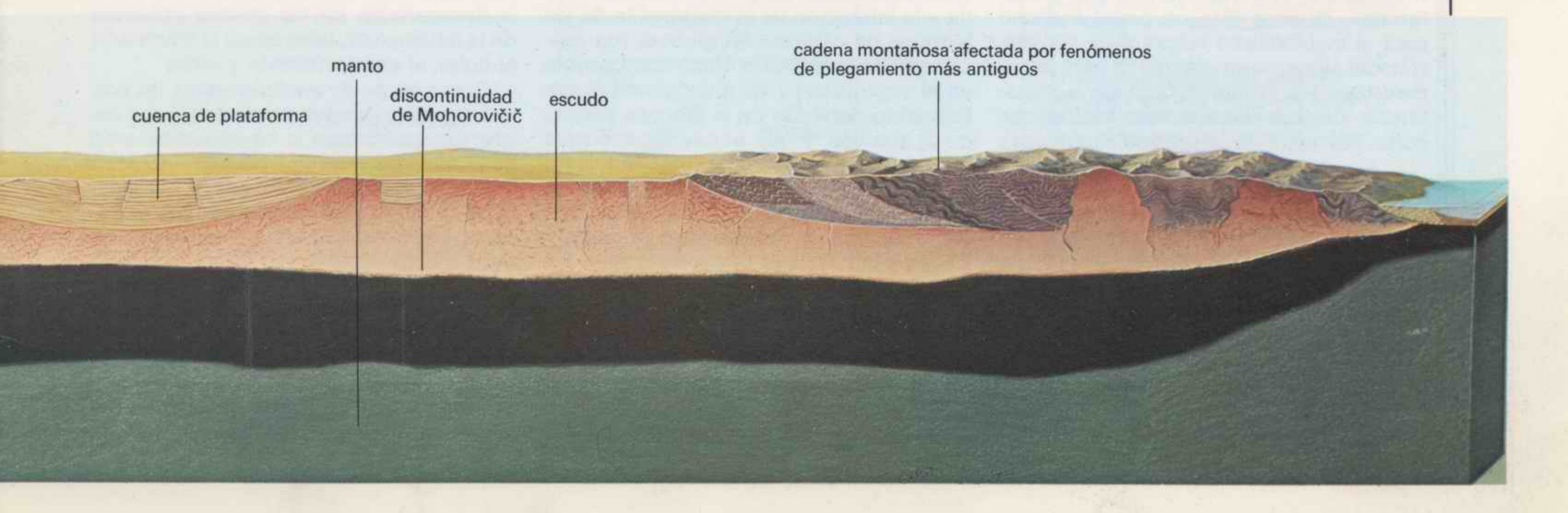


La corteza terrestre se divide en continental y oceánica. Ambas están en movimiento: se crean y se destruyen. El esquema de abajo muestra cómo una masa continental está formada por escudos y plataformas sometidos a movimientos tectónicos que producen pliegues, hundimientos bajo el nivel del mar, orogénesis, fenómenos volcánicos y metamorfismo de las rocas. El vulcanismo es el vehículo mediante el cual ascienden los materiales magmáticos del manto hasta la superficie de la corteza, donde liberan nuevos materiales. Además de estos fenómenos, producen intercambios químicos entre las rocas, o "metamorfosis". Estos son muy activos allí donde rocas diferentes se ponen en contacto en presencia de fuertes presiones y altas temperaturas. Dado que dichos fenómenos se producen a gran escala, es posible que originen, en la proximidad de las áreas en que tienen lugar, extensos yacimientos de minerales útiles. A la derecha, los tres estereogramas muestran los momentos más significativos de la historia de la región en la que surgió la cadena de los Urales. Arriba, hace 300 millones de años, los dos continentes estaban separados por una fosa oceánica y se aproximaban. Por eso en la zona de colisión ulterior se encuentran restos tanto de la actividad volcánica (centro) como de la sedimentación marina (abajo).

dorsal en expansión
fosa oceánica

dorsal en expansión
fosa oceánica

rocas sedimentarias
rocas volcánicas



Cortisona

Pocos medicamentos poseen un espectro de eficacia tan amplio como el de la cortisona, un compuesto orgánico que se sintetiza de modo natural en el organismo humano y que puede ser también sintetizado de modo artificial.

La cortisona se utiliza para aliviar los síntomas de trastornos tan diversos como pueden ser la leucemia aguda y las erupciones de la piel. Desgraciadamente, en el caso de muchas enfermedades su efecto no es curativo. Efectivamente, la cortisona es tan eficaz en la disminución de la inflamación y del dolor sin ofrecer ninguna posibilidad de curación, que los médicos han expresado la macabra opinión de que el abuso de cortisona puede "permitir al paciente caminar por su propio pie hasta la sala de autopsias".

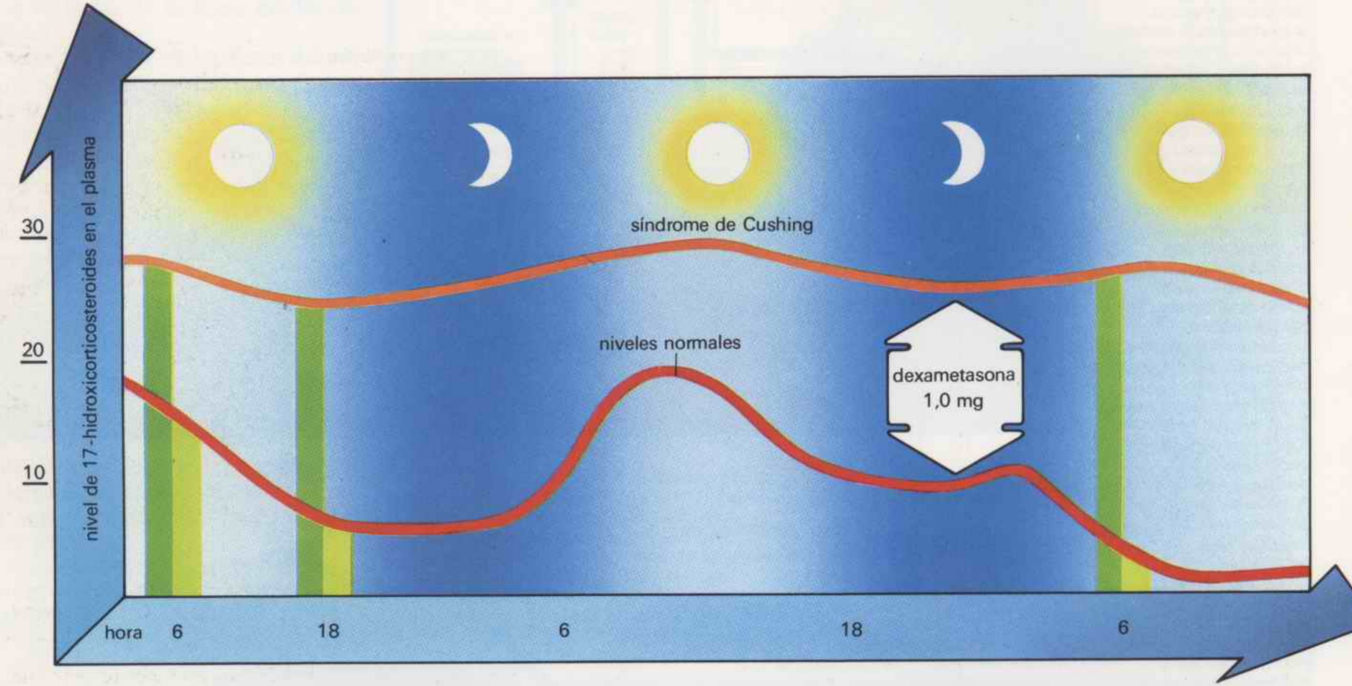
En la especie humana, la cortisona es una de las hormonas de naturaleza esteroidea que se producen en la corteza suprarrenal, la parte más externa de las glándulas suprarrenales, que se encuentran ubicadas en la parte superior de los riñones.

La cortisona y sus "parientes" químicos —el cortisol, la corticosterona y la aldosterona— desempeñan un papel esencial para el metabolismo corporal (la conversión del alimento en energía) y para la homeostasis (el mantenimiento de la constancia de las condiciones biológicas, como por ejemplo la presión sanguínea).

El grupo de los esteroides Las cuatro sustancias mencionadas anteriormente reciben el nombre de *corticosteroides* ("cortico" debido a que son producidas en la corteza suprarrenal, y "esteroides" dado que pertenecen al grupo químico de los esteroides, que son un conjunto de moléculas naturales que regulan los procesos metabólicos del hombre y de otros organismos).

La fórmula química de la cortisona es $C_{21}H_{28}O_5$, mientras que la representación del cortisol, también llamado *hidrocortisona*, es $C_{21}H_{30}O_5$.

La cortisona desarrolla su acción eficaz como medicamento gracias a tres mecanismos: posee un fuerte efecto sobre los procesos metabólicos, aumenta la reabsorción de sal por parte de riñón (con consecuencias importantes para la fisiología del organismo en su totalidad) y reduce los procesos inflamatorios. Estos efectos hacen que la cortisona sea útil contra enfermedades tales como: la artritis reumatoide, la insuficiencia de las glándulas suprarrenales, las irritaciones del ojo y enfermedades de la piel como el eccema.



Controles metabólicos Los glucocorticoides son corticosteroides particularmente eficaces en la estimulación y mantenimiento del metabolismo orgánico.

Durante las investigaciones que condujeron al descubrimiento de la cortisona, se percibió que aquellos pacientes que sufrían una insuficiente secreción por parte de las glándulas suprarrenales manifestaban una falta de energía y de vigor; la causa de este hecho fue parcialmente atribuida a la inhibición de la conversión de los hidratos de carbono en glucosa (un azúcar que es consumido como combustible en el organismo) y en glucógeno (un polisacárido derivado de la glucosa, parecido al almidón, y que puede almacenarse en el hígado). Los glucocorticoides favorecen la conversión metabólica de las proteínas en hidratos de carbono, los cuales, a su vez, se transforman en azúcar.

Los aminoácidos, que constituyen los "ladrillos" de los que se componen las proteínas, son "desaminados" (es decir, experimentan la pérdida de su grupo amino) y la parte restante de la molécula se transforma en glucosa por la acción de los enzimas presentes en el hígado. Tales enzimas son controlados por los glucocorticoides.

Los minerales corticoides, por el contrario, son corticosteroides que actúan directamente sobre los riñones originando una retención de sodio en el organismo y colaborando con el riñón en la eliminación del potasio que existe en exceso en el cuerpo. Esto conlleva un efecto sobre la composición electrolítica de los fluidos orgánicos y de las células, la cual posee una importancia vital en la función muscular normal. Si los niveles electrolíticos son anormales, los músculos, incluido el músculo cardiaco, se debilitan. Ello puede conducir a una debilidad generalizada e incluso al colapso cardiocirculatorio.

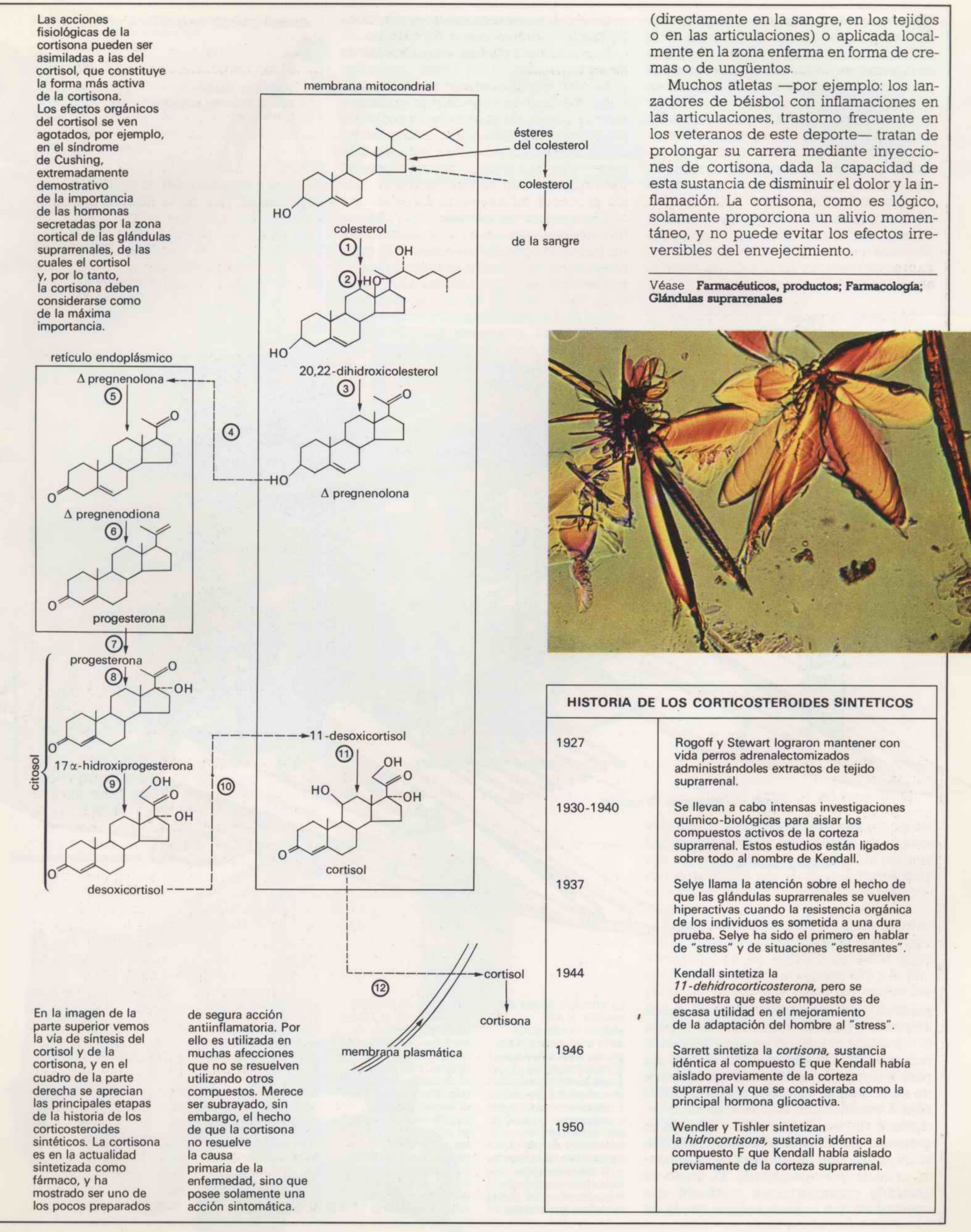
Efecto antiinflamatorio La eficacia de la cortisona como agente antiinflamatorio ha sido reconocida desde hace muchos años. Como medicamento, es indudablemente útil contra las inflamaciones debido a que actúa independientemente de la causa de la enfermedad.

El mecanismo a través del cual la cortisona ejerce su efecto antiinflamatorio no es, hasta la fecha, bien conocido. El resultado final de la acción de la cortisona es la desaparición de los efectos irritativos de la inflamación, tales como la hinchazón, el dolor, el enrojecimiento y otros.

Como grupo de medicamentos, los corticosteroides pueden producir efectos colaterales peligrosos si se administran en dosis masivas y durante períodos de tiempo excesivamente prolongados. En efecto, tal abuso origina el resurgimiento de úlceras pépticas, exceso de azúcar en la sangre (hiperglucemia), cataratas en los ojos, retraso del crecimiento en los adolescentes, depósitos antiestéticos de grasa en el cuerpo y en el rostro y una mayor susceptibilidad a las infecciones.

La cortisona puede ser administrada por vía oral, puede también ser inyectada

Las acciones fisiológicas de la cortisona pueden ser asimiladas a las del cortisol, que constituye la forma más activa de la cortisona. Los efectos orgánicos del cortisol se ven agotados, por ejemplo, en el síndrome de Cushing, extremadamente demostrativo de la importancia de las hormonas secretadas por la zona cortical de las glándulas suprarrenales, de las cuales el cortisol y, por lo tanto, la cortisona deben considerarse como de la máxima importancia.



(directamente en la sangre, en los tejidos o en las articulaciones) o aplicada localmente en la zona enferma en forma de cremas o de ungüentos.

Muchos atletas —por ejemplo: los lanzadores de béisbol con inflamaciones en las articulaciones, trastorno frecuente en los veteranos de este deporte— tratan de prolongar su carrera mediante inyecciones de cortisona, dada la capacidad de esta sustancia de disminuir el dolor y la inflamación. La cortisona, como es lógico, solamente proporciona un alivio momentáneo, y no puede evitar los efectos irreversibles del envejecimiento.

Véase **Farmacéuticos, productos; Farmacología; Glándulas suprarrenales**

HISTORIA DE LOS CORTICOSTEROIDES SINTETICOS	
1927	Rogoff y Stewart lograron mantener con vida perros adrenalectomizados administrándoles extractos de tejido suprarrenal.
1930-1940	Se llevan a cabo intensas investigaciones químico-biológicas para aislar los compuestos activos de la corteza suprarrenal. Estos estudios están ligados sobre todo al nombre de Kendall.
1937	Selye llama la atención sobre el hecho de que las glándulas suprarrenales se vuelven hiperactivas cuando la resistencia orgánica de los individuos es sometida a una dura prueba. Selye ha sido el primero en hablar de "stress" y de situaciones "estresantes".
1944	Kendall sintetiza la *11-dehidrocorticosterona,* pero se demuestra que este compuesto es de escasa utilidad en el mejoramiento de la adaptación del hombre al "stress".
1946	Sarrett sintetiza la *cortisona,* sustancia idéntica al compuesto E que Kendall había aislado previamente de la corteza suprarrenal y que se consideraba como la principal hormona glicoactiva.
1950	Wendler y Tishler sintetizan la *hidrocortisona,* sustancia idéntica al compuesto F que Kendall había aislado previamente de la corteza suprarrenal.

En la imagen de la parte superior vemos la vía de síntesis del cortisol y de la cortisona, y en el cuadro de la parte derecha se aprecian las principales etapas de la historia de los corticosteroides sintéticos. La cortisona es en la actualidad sintetizada como fármaco, y ha mostrado ser uno de los pocos preparados de segura acción antiinflamatoria. Por ello es utilizada en muchas afecciones que no se resuelven utilizando otros compuestos. Merece ser subrayado, sin embargo, el hecho de que la cortisona no resuelve la causa primaria de la enfermedad, sino que posee solamente una acción sintomática.

Cosechadora

En los tiempos bíblicos el trigo era recogido de los campos y extendido sobre el suelo de los graneros en donde los agricultores separaban el grano de la paja golpeándolo. Para ello utilizaban un trillo de mano que consistía en un bastón de madera de alrededor de un metro de largo al cual se le unía otro más corto mediante una cinta de cuero. El agricultor sujetaba entre las manos el bastón más largo mientras que con el más corto sacudía el trigo extendido sobre el suelo del granero y lo deshacía. Los graneros estaban abiertos por ambos lados, de forma que la corriente de aire hacía volar la paja. En algunas regiones de Asia y Africa todavía hoy se utiliza el trillo de mano.

Trilladora de motor En los países en los que la agricultura se encuentra actualmente más mecanizada, la trilla se lleva a cabo con máquinas. En pocos minutos una trilladora mediana es capaz no sólo de separar el grano de la paja, sino también de limpiarlo y pesarlo y empaquetar la paja. El agricultor coloca las gavillas del cereal recogido en un alimentador, el cual las pasa a través de un cilindro que dispone de unos dientes en punta que separan la paja. A continuación el grano cae en un recipiente donde es limpiado y la paja es golpeada, pasada por un cedazo para quitar el grano que ha quedado y, finalmente, cribada y empaquetada. El grano es limpiado posteriormente mediante una aventadora que lo hace pasar a través de cedazos; después es pesado e introducido por un tubo en sacos de cáñamo.

Las trilladoras pueden estar dotadas de cedazos especiales de forma que trillen diversos tipos de grano: trigo, cebada, arroz, centeno, semillas de soja, guisantes, hierbas medicinales, algunos tipos de trébol, etc. Tienen además la ventaja de recoger la paja, que puede ser utilizada también como fertilizante y como alimento para el ganado.

Cosechadora de cereales Se trata de una máquina que puede ser arrastrada por un tractor o bien ser automotriz. El trigo, después de ser cortado, es introducido directamente en el mecanismo de la trilladora, que funciona en líneas generales como se ha descrito anteriormente. Una cosechadora arrastrada por un tractor efectuará un corte de 1 a 6 metros, según el tamaño del vehículo y de su sierra de corte. Una cosechadora automotriz es mo-

elevador principal del grano

aventador rotativo para la segunda limpieza y selección

plataforma del conductor

transportador-elevador

PLATAFORMA DE CORTE

aspa abatidora con dientes de muelle

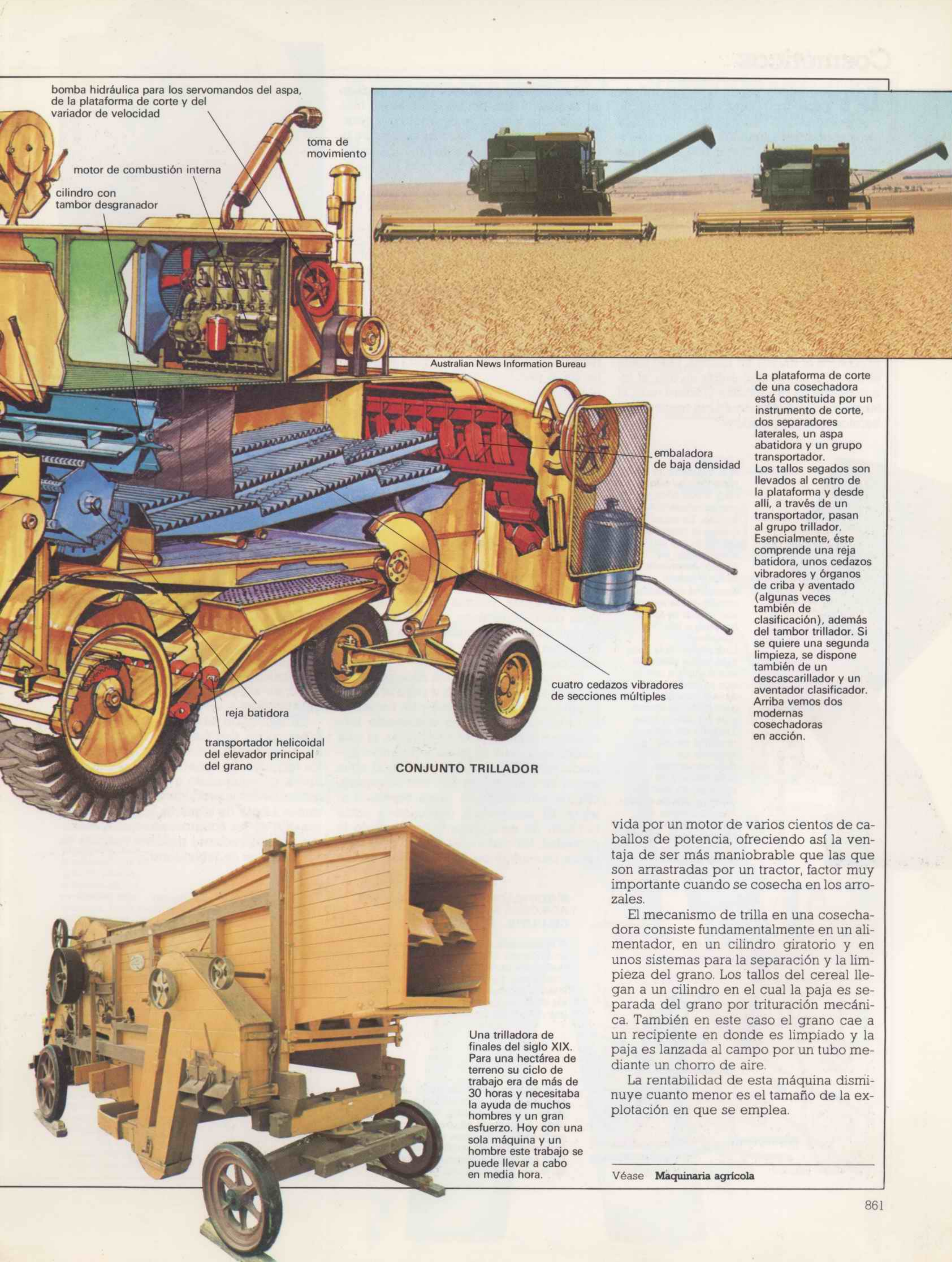
corte con elevadores de espigas

separadores laterales

transportador helicoidal

La trilladora es una máquina agrícola que separa esencialmente las cariópsides (frutos que han madurado y que no se abren) de cereales del resto de la planta que ha sido segada y las libera de la vaina que las encierra. En el caso del arroz, la segunda operación se hace en las fábricas.

La trilladora puede ser *sencilla,* si sólo efectúa la operación de la trilla, dejando los granos mezclados con la paja, las vainas (especie de hojas que envuelven los granos) y otras impurezas; o *compuesta,* cuando realiza también la separación de las cariópsides de la paja y de las impurezas. Existe una tercera máquina aún más completa que efectúa otro ciclo de limpieza del producto. El primer tipo de trilladora —la sencilla— ha caído completamente en desuso, mientras que el segundo —más pequeño y ligero que el tercero, que es mucho más complejo— se utiliza todavía en las zonas con desniveles topográficos. De la combinación de la segadora y la trilladora deriva la *cosechadora,* que se muestra sobre estas líneas y que ejecuta simultáneamente las operaciones de siega y trilla del trigo y de otros granos de cereales. La cosechadora está constituida por dos grupos de órganos mecánicos: la *plataforma de corte* y el *conjunto trillador,* encargados respectivamente de segar y trillar.



Australian News Information Bureau

La plataforma de corte de una cosechadora está constituida por un instrumento de corte, dos separadores laterales, un aspa abatidora y un grupo transportador. Los tallos segados son llevados al centro de la plataforma y desde allí, a través de un transportador, pasan al grupo trillador. Esencialmente, éste comprende una reja batidora, unos cedazos vibradores y órganos de criba y aventado (algunas veces también de clasificación), además del tambor trillador. Si se quiere una segunda limpieza, se dispone también de un descascarillador y un aventador clasificador. Arriba vemos dos modernas cosechadoras en acción.

Una trilladora de finales del siglo XIX. Para una hectárea de terreno su ciclo de trabajo era de más de 30 horas y necesitaba la ayuda de muchos hombres y un gran esfuerzo. Hoy con una sola máquina y un hombre este trabajo se puede llevar a cabo en media hora.

vida por un motor de varios cientos de caballos de potencia, ofreciendo así la ventaja de ser más maniobrable que las que son arrastradas por un tractor, factor muy importante cuando se cosecha en los arrozales.

El mecanismo de trilla en una cosechadora consiste fundamentalmente en un alimentador, en un cilindro giratorio y en unos sistemas para la separación y la limpieza del grano. Los tallos del cereal llegan a un cilindro en el cual la paja es separada del grano por trituración mecánica. También en este caso el grano cae a un recipiente en donde es limpiado y la paja es lanzada al campo por un tubo mediante un chorro de aire.

La rentabilidad de esta máquina disminuye cuanto menor es el tamaño de la explotación en que se emplea.

Véase **Maquinaria agrícola**

Cosméticos

Los cosméticos, según la definición de la Food and Drug Administration, comprenden los "maquillajes" y muchos otros productos, como los desodorantes y el champú. Ciertos objetos hallados en las antiguas tumbas egipcias demuestran que los cosméticos ya eran usados 3.500 años antes de Cristo. En el último siglo antes de nuestra Era, los egipcios, romanos, griegos y persas disponían ya de talcos para aclarar la piel, para oscurecer los párpados, las pestañas y las cejas, coloretes para las mejillas y aceites extraídos de la almendra, de la aceituna y de otros frutos para dar masajes. Desde el siglo XIII en adelante, los cosméticos para el rostro y los tintes para el cabello, derivados de productos animales y vegetales, se convirtieron en productos comunes en Europa. Pero hasta el siglo XX no se generaliza su uso, al industrializar su producción y, sobre todo, al fabricar cosméticos sintéticos, mucho más baratos que los naturales.


Staathiche Museum, Berlin

A la izquierda, la reina Nefertiti, que reinó hace 3.500 años, en una escultura tumular egipcia. En aquel tiempo la cosmética se practicaba ya ampliamente en Egipto. Antimonio, hollín y galena finamente triturados constituían la mezcla con la cual se teñían las cejas y las pestañas.
Una planta de la zona subtropical producía una sustancia con la que se podían teñir de rojo cabellos, palmas de las manos y de los pies, y uñas. También los antiguos romanos tenían fórmulas de cosméticos muy elaborados y no dudaban en traer las materias primas desde lejanos lugares. El negro para los ojos se obtenía de un mineral extraído en las minas de Libia.

Maquillajes y productos para el cuidado de la piel Uno de los problemas más complejos a la hora de determinar la composición de un cosmético es que éste a la vez que se destina a un fin principal debe cumplir otras muchas funciones. Por ejemplo, unos polvos para el rostro deben poseer diversas propiedades para ser eficaces. El óxido de cinc y el bióxido de titanio que contienen confieren características de opacidad que esconden las imperfecciones y manchas del cutis. Sin embargo, los polvos deben también dar un aspecto natural y no transformar el rostro en una máscara. El bióxido de titanio es aplicado también para este fin, por cuanto confiere un aspecto brillante a la piel. Los polvos deben además tener buenas características de adherencia para no resbalar de la piel (con este objeto se emplea el estearato de magnesio) y un buen poder absorbente (que viene dado por el caolín y el yeso) para retener el sudor y las grasas de la piel.

Museo Poldi-Pezzoli, Milán

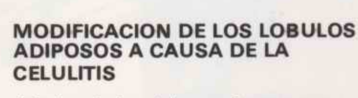
Las barras de los labios están constituidas por una sustancia grasa de base compacta y por un colorante mezclado con bióxido de titanio, que es el que confiere brillo y mayor poder cubriente.

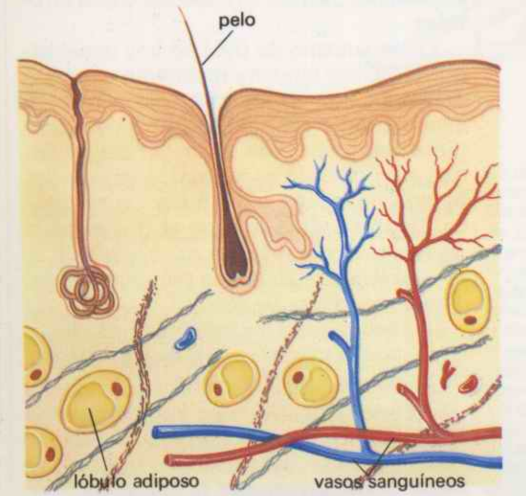
Productos para el cabello Los champús están constituidos básicamente por detergentes con capacidad de remover la grasa. El jabón simple no siempre es un champú eficaz, porque al disolverse en agua dura se combina con los compuestos minerales contenidos en ésta y, en vez de generar espuma y limpiar, forma una sustancia pegajosa.

Cada cabello posee una capa protectora de grasa que lo lubrifica pero al mismo tiempo retiene la suciedad y las bacterias. El champú contiene un compuesto tensioactivo similar al del detergente, el cual rompe esta capa de grasa y de polvo formada sobre el cabello y permite al agua entrar en contacto directo con su superficie; de otro modo, la grasa repelería al agua. El compuesto tensioactivo actúa también de emulsionante, extrayendo la suciedad, las sustancias grasas y las bacterias, reteniéndolas en forma de emulsión acuosa hasta ser evacuadas durante el enjuagado, operación que es necesaria para evitar que la suciedad se redeposite en el cabello. El champú, sin embargo, no es nunca eliminado del todo: sustancias oleosas contenidas en él, llamadas *emolientes*, recubren el cabello para sustituir la grasa perdida durante el lavado.

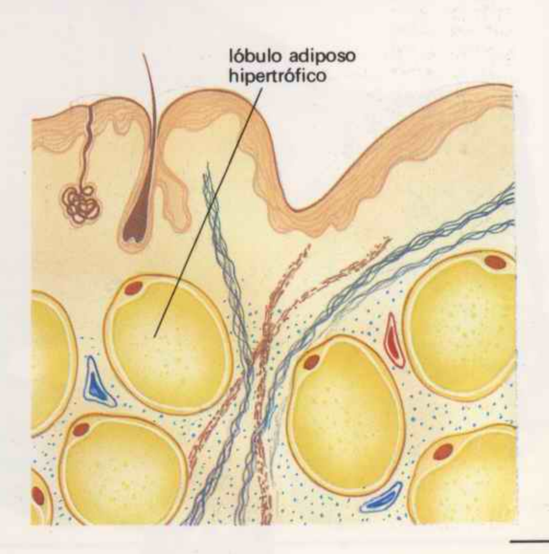
Los tintes para el cabello emplean colorantes metálicos, diluidos en agua y alcohol. Tales compuestos cubren la parte externa del cabello con una película metálica coloreada. A diferencia de los tintes permanentes, en las aplicaciones provisionales los compuestos no penetran en el folículo del cabello sino que, por el contrario, se adhieren solamente al exterior de sus fibras.

La aplicación de un tinte permanente se produce en dos fases. En la primera se hace penetrar un compuesto químico en los folículos del cabello; en la segunda se aplica un compuesto que da el color. Algunos de estos productos contienen colorantes a base de alquitrán mineral, sustancia que se ha comprobado que a elevadas concentraciones produce tumores en los animales de laboratorio.


MODIFICACION DE LOS LOBULOS ADIPOSOS A CAUSA DE LA CELULITIS



A la izquierda, piel normal que pone en evidencia los diversos elementos que se encuentran en su espesor. Entre éstos: pelos, vasos sanguíneos, lóbulos adiposos. Tanto éstos como los vasos sanguíneos tienen aquí una dimensión totalmente normal.



A la derecha, por el contrario, una sección de piel en la cual la grasa de los lóbulos adiposos está en mayor dosis: los lóbulos adiposos se han engrosado y presionan a los vasos sanguíneos, ahora atrofiados del todo; falta por tanto la irrigación sanguínea de la piel, que sufre una degradación.

Otros productos Al igual que los champús, los jabones de afeitar remueven la grasa del pelo permitiendo así al agua penetrar hasta la superficie de la fibra, volviéndola suave a fin de poder ser más fácilmente afeitada.

Los antitranspirantes se basan en el empleo de sales astringentes que contraen los poros de la piel, moderando la sudoración. La más común de estas sales es el cloruro de aluminio. Estas sales actúan también como desodorante en cuanto que eliminan las bacterias que causan los olores relacionados con el fenómeno de la transpiración.

Prueba de los cosméticos y problemas de nocividad Algunas personas son alérgicas a los cosméticos o contraen alergias con el uso de tales productos. Antes de ser introducidos en el mercado, los cosméticos deben ser, por tanto, sometidos a exámenes para determinar la nocividad o la tendencia a causar irritaciones. Estos exámenes se basan en la aplicación de los cosméticos sobre una pequeña área de la superficie del cuerpo de ratones, gatos y cobayas. La sensibilización o forma alérgica que puede desarrollarse con el uso de los cosméticos es difícil de probar, ya que este fenómeno se produce solamente en una de cada 50.000 personas, y por tanto escapa fácilmente a las pruebas preliminares efectuadas; sólo se manifestará cuando el producto cosmético sea comercializado masivamente.

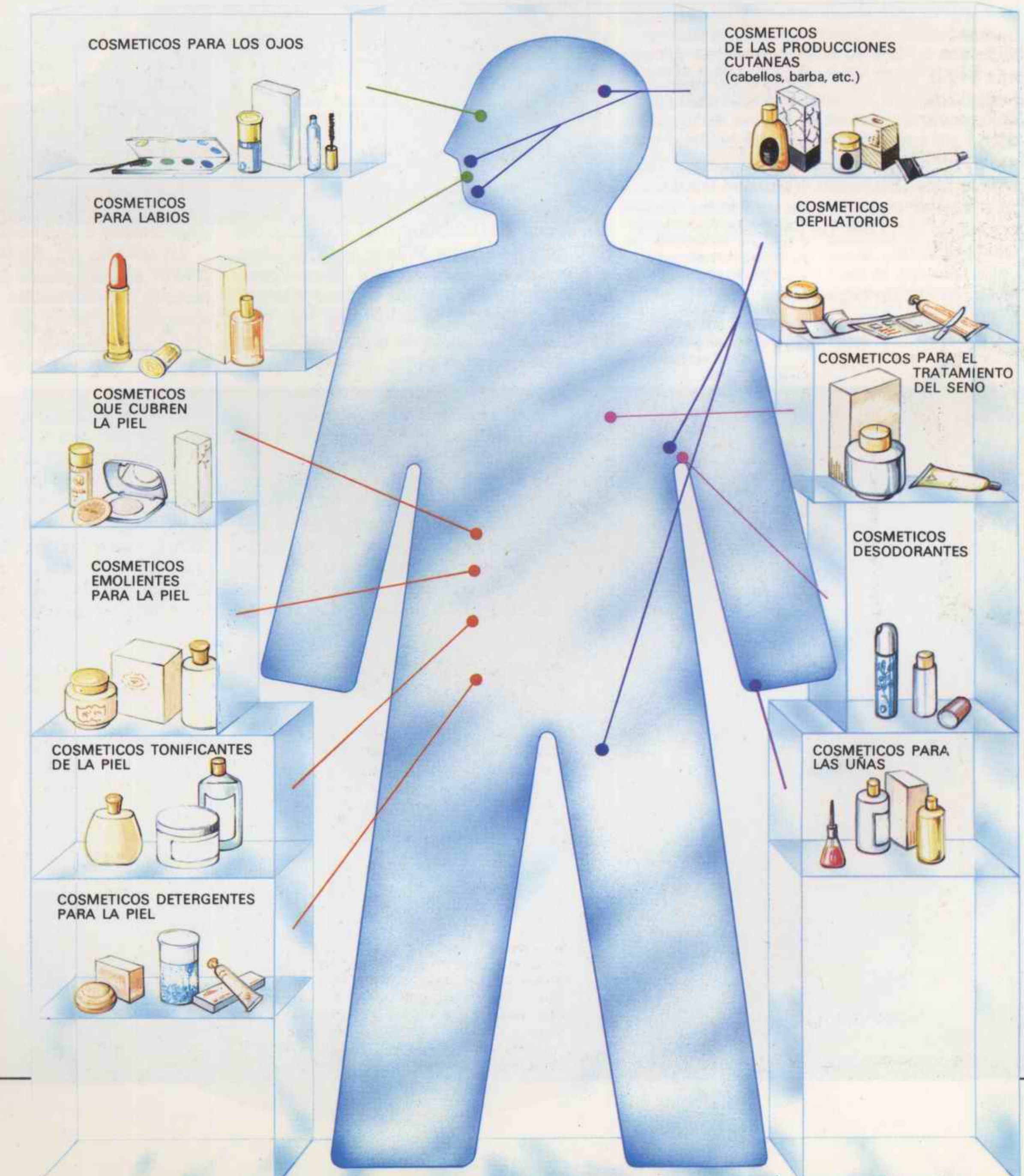
Los cosméticos que pueden ser ingeridos, como los de labios, son sometidos a exámenes a fin de descartar toda posibilidad de toxicidad.

Algunos productos deben usarse con precaución. Los estrógenos para el cutis y las cremas para las manos, por ejemplo, dejan la piel suave y la mantienen joven; sin embargo, su empleo excesivo puede ocasionar un desequilibrio hormonal.

Los productos hipoalérgicos, que la mayoría de personas considera que no provocan reacciones alérgicas, son en realidad definidos como cosméticos con menor efecto irritante respecto a otros, pero no son inocuos. Por ello la Comunidad Económica Europea exige que todos los cosméticos indiquen en su envase cuál es su composición y si pueden darse efectos secundarios, para que el usuario pueda conocer de antemano sus efectos.

Véase **Desodorante**

El *retrato de dama* de Pollaiolo (página anterior, arriba), obra del s. XV, es el compendio del arte cosmético del Renacimiento y podría ser propaganda de un producto cosmético o de un salón de belleza. Además de las fórmulas usadas para tener el cabello rubio-oro, se empleaban verdaderos productos de acción biológica, como los que servían para descongestionar la piel o para tenerla lisa y bien hidratada.



A la espera de que la Biología entre en profundidad en la búsqueda de nuevos cosméticos que produzcan un efectivo rejuvenecimiento de los tejidos del cuerpo, existen muchos productos que se aplican para la solución de los problemas más diversos. En el cuadro de la derecha, los puntos o zonas del cuerpo en los cuales se aplican varios tipos de cosméticos. Estos últimos se pueden dividir en dos categorías: los que desarrollan una acción de simple "pintura", es decir, una acción cubriente, y aquellos otros que efectúan una acción química y biológica en profundidad. Entre los primeros se encuentran los esmaltes para uñas, y entre los segundos, los estabilizantes y desodorantes.

Cosmología

En pocas palabras, la *Cosmología* puede definirse como la ciencia que estudia el origen y la naturaleza del Universo. Durante los miles de años que han precedido a la aparición del telescopio, no hay duda de que el hombre observaba maravillado el cielo nocturno, imaginando teorías más o menos plausibles sobre la naturaleza del Universo que le rodeaba. Los babilonios pensaban que la Tierra era el centro del Universo y que podía ser representada por una montaña hueca, flotando en un océano. Para ellos la cúpula celeste era una semiesfera sólida, curvada sobre la Tierra y situada entre las aguas inferiores del océano y las superiores, que a veces se vertían sobre la Tierra en forma de lluvia.

En la antigua Grecia, salvo escasas y relevantes excepciones, coincidían con la idea de que la Tierra fuese el centro del Universo. Un disidente de esta teoría fue un tal Filolao, que en el siglo V a. de C. aventuró la hipótesis de que la Tierra era una esfera que diariamente daba un giro alrededor de un "fuego central", representado por el Sol. Aproximadamente en el año 140 d. de C., el astrónomo griego Ptolomeo ideó un sistema cosmológico que estuvo vigente hasta el siglo XVII. Según dicho sistema, la Tierra se encontraba inmóvil en el centro del Universo, mientras que la Luna, Mercurio, Venus, el Sol, Marte y Júpiter giraban a su alrededor, describiendo cada uno de ellos una pequeña órbita circular.

La revolución copernicana El modelo tolemaico del Universo era aún aceptado en 1543, año en que el astrónomo polaco Copérnico publicaba su teoría sobre la rotación de la Tierra. Sus ideas, que entraron en conflicto con los dogmas científicos y religiosos de la época, postulaban que la Tierra giraba alrededor del Sol y que en el centro del Universo se encontraba precisamente el Sol y no la Tierra. De esta forma Copérnico se oponía a la concepción de que la Tierra constituyese el centro de un Universo muy limitado.

El descubrimiento de las galaxias Durante casi 400 años después de que los descubrimientos de Copérnico fuesen acogidos científicamente, en la imaginación popular siguió arrastrándose la idea de que nuestro Sol y nuestro Sistema Solar eran el verdadero centro del Universo.

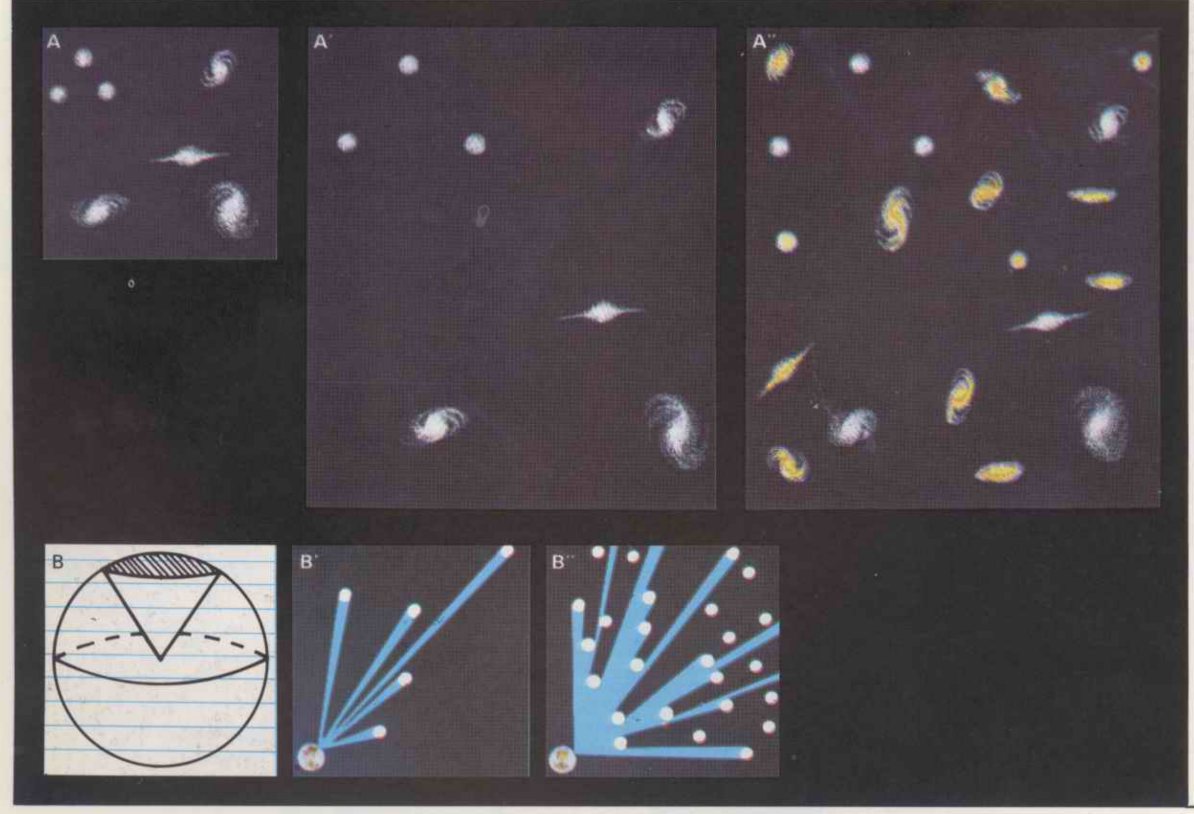
Si bien fue en el siglo XVIII, en Inglaterra, cuando el astrónomo sir William Herschel pudo observar por primera vez no sólo la forma de nuestra galaxia sino también las nebulosas (masas luminosas parecidas a nubes en el cielo nocturno), y pensó que podían existir otras galaxias además de la nuestra, hubo que esperar hasta 1918, con el desarrollo de telescopios más potentes, para adquirir mayores conocimientos de las galaxias lejanas. Fue el astrónomo norteamericano Edwin Powell Hubble quien estableció formalmente que las nebulosas observadas por Herschel eran remotísimas galaxias. En 1920 se conocían unas 500.000 galaxias, y tras la instalación del telescopio de 100 pulgadas (250 cm) de Monte Wilson, en California, el número aumentó de 10 a 100 millones. Los potentes telescopios ópticos y los radiotelescopios de la actualidad han confirmado la existencia de millones de otras galaxias, cada una con cientos de millones de estrellas presumiblemente parecidas a nuestro Sol.

Los descubrimientos de la Astronomía han proporcionado un cuadro de nuestra galaxia, la Vía Láctea, que es un cúmulo estelar con unos 100.000 millones de estrellas, distribuidas en una zona en forma de disco o, como dicen algunos, en forma de huevo frito. El diámetro del disco es de aproximadamente 80.000 años-luz (un año-luz es la distancia recorrida por la lùz en un año, que viene a ser igual a 10.000 millones de millones de kilómetros).

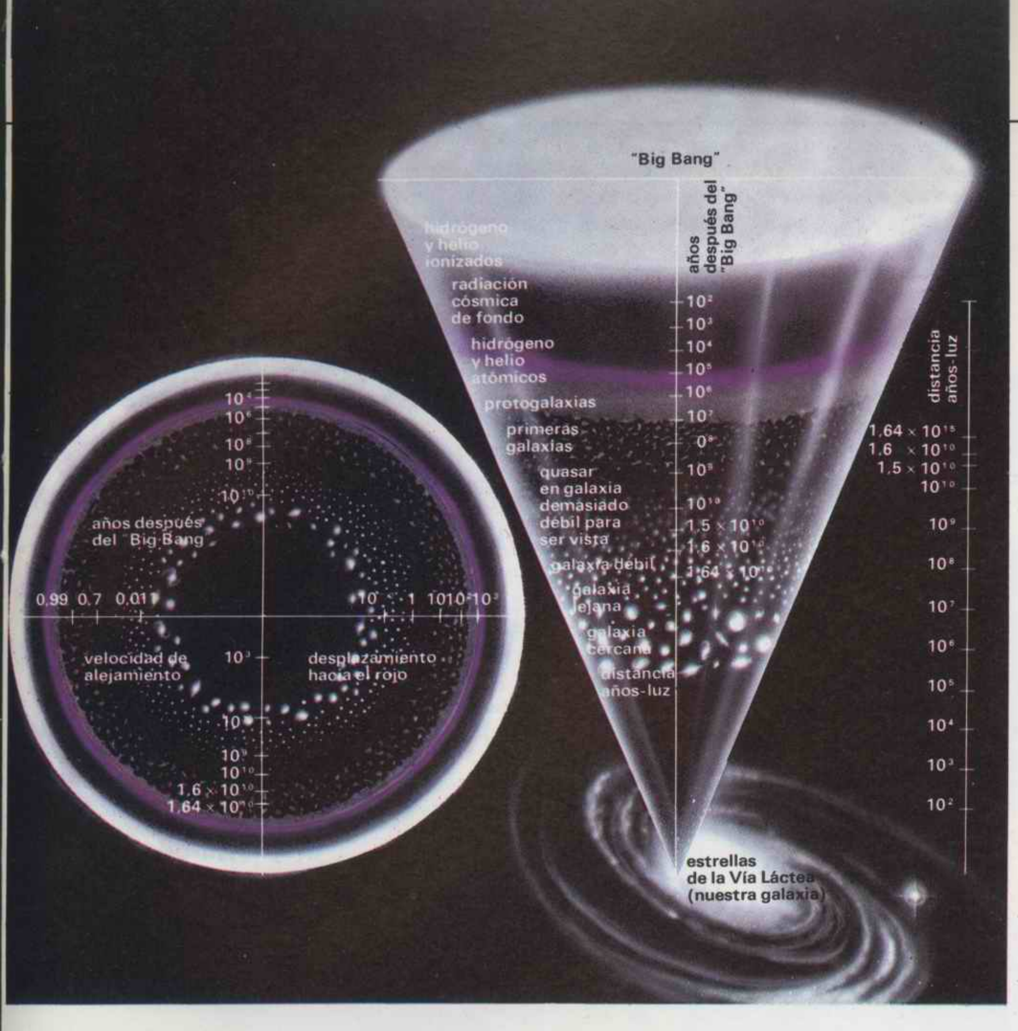
Aproximadamente el 80% de la masa total de nuestra galaxia está concentrado en las estrellas. El resto de la materia existente entre las estrellas es hidrógeno gaseoso muy enrarecido y partículas de polvo, generalmente carbono en forma de grafito. Nuestro Sistema Solar está localizado cerca del borde del disco formado por la galaxia. El descubrimiento de que nuestra posición no es ni siquiera cercana al centro de la galaxia ha dado el golpe final a la egocentricidad cósmica de la raza humana.

Hubble, entre otras cosas, observó también la forma de varias galaxias del Universo. Algunas, como la galaxia de Andrómeda, son conocidas con el nombre de *galaxias en espiral*, ya que las estrellas que las componen están dispuestas en dicha forma. Otras galaxias son *esféricas*, *elipsoidales* o *barradas*.

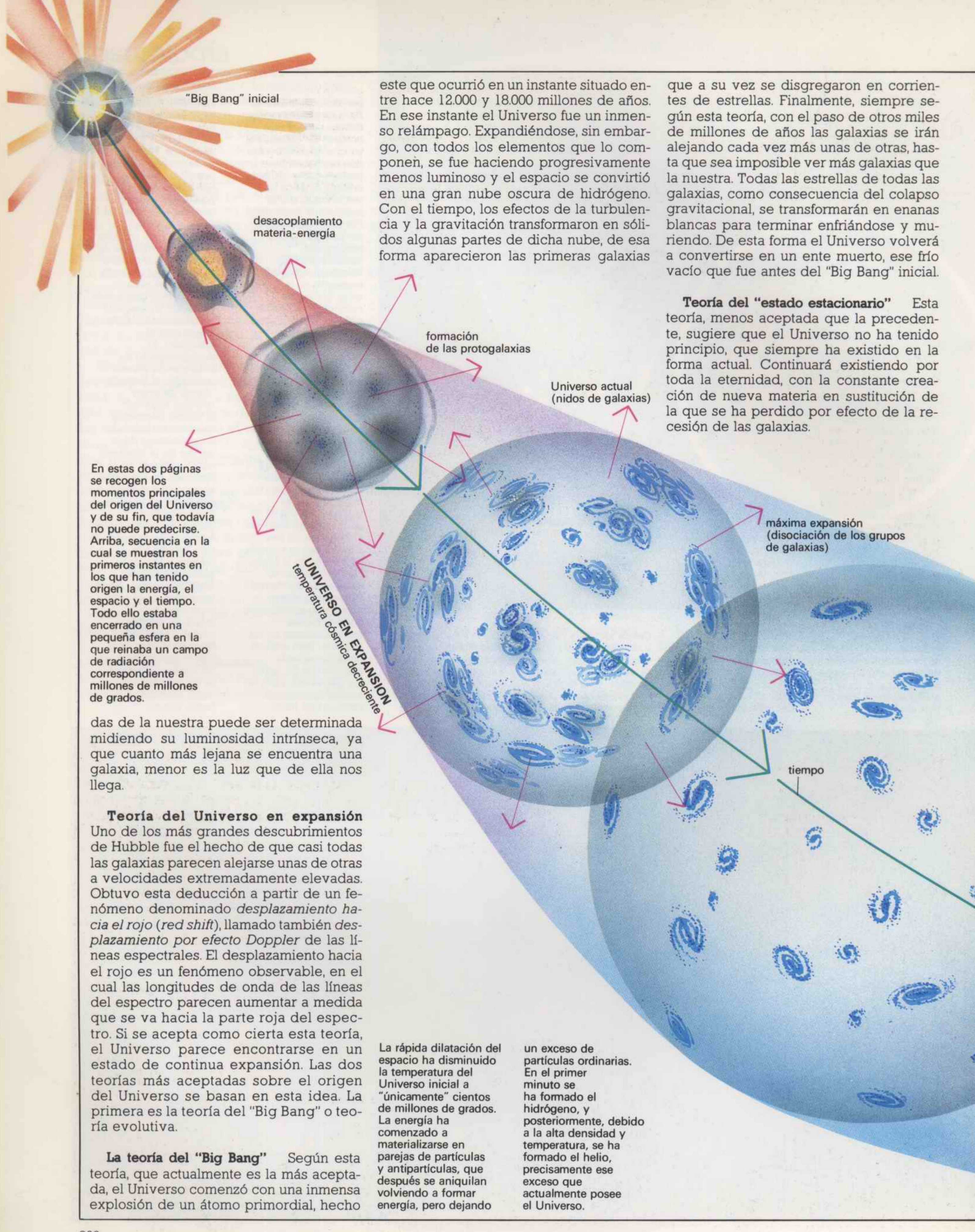
La galaxia de Andrómeda (que es la mayor galaxia en las proximidades de la nuestra) se encuentra a una distancia de aproximadamente 2,2 millones de años-luz. La distancia de las galaxias más aleja-



En el pasado y hasta hace unos pocos decenios la Cosmología apenas era tomada en consideración por los astrónomos. Se sabían muy pocas cosas del Universo para poder hablar de su origen y de su evolución. Además, no se pensaba en la necesidad de tener en cuenta también el origen del espacio y del tiempo, y sí se tomaban en consideración algunos hechos que limitaban la especulación. Uno es la llamada "paradoja de Olbers" (B, B', B''). Si el Universo está lleno de estrellas con la misma densidad, miremos adonde miremos deberá existir una estrella y el fondo deberá aparecer uniformemente luminoso. Si además se dilata y la densidad de materia es la misma, quiere decir que en alguna parte la materia debe ser creada de forma continua (A, A', A'').



Encima y debajo de estas líneas se muestra el modelo del origen del Universo hoy aceptado. En la elaboración de este modelo ha contribuido el conocimiento de algunos hechos desde hace mucho tiempo. El primero es el de la expansión del retículo de galaxias. Desde los años veinte y treinta se sabe que las galaxias se están alejando unas de otras. Esto significa que existe una energía en correspondencia con la velocidad de alejamiento. Ayer estaban más cerca y a medida que se va retrocediendo en el tiempo sus distancias relativas han debido ser cada vez menores. Pero incluso entonces debían encontrarse en proceso de expansión, ya que no existe nada que explique cómo pueden haber recibido energía cinética una vez iniciado dicho proceso de expansión. Por esta razón debe ser posible retrotraerse, conociendo la velocidad actual, al momento en que se encontraban en contacto: un sencillo cálculo muestra que esto debe haber ocurrido hace unos veinte mil millones de años. Antes de eso la materia debía estar comprimida y de la compresión (a alta temperatura) debe de haberse iniciado la dilatación que sigue actualmente. Un segundo hecho que podía hacer pensar en un origen con explosión y alta temperatura inicial es un exceso de helio en el Universo. Si se supone que la materia ha nacido en la forma más simple, como hidrógeno, los demás elementos deben haber sido sintetizados por reacciones termonucleares en las estrellas. Esto explica perfectamente la abundancia de todos los elementos, pero no explica la excesiva cantidad de helio existente. El hecho se habría podido explicar pensando en el origen del Universo con un comienzo "caliente", en el cual, incluso sin estrellas, parte del hidrógeno habría podido transformarse en helio. Además, ese "origen caliente" habría debido producir grandes cantidades de radiación que todavía debería estar viajando a través del espacio, aunque muy degradada (es decir, su longitud de onda sería mucho mayor que al principio). El descubrimiento de la existencia de esa radiación, el llamado "fondo isótropo" (porque llega con la misma intensidad desde todas partes), ha persuadido de la validez de la hipótesis del "Big Bang". A la izquierda puede verse el cono que muestra a qué distancia en el tiempo se han desarrollado las etapas fundamentales que han llevado a la materia a formar las actuales galaxias alejadas entre sí. Abajo, las etapas de la gran explosión, con la esfera de energía inicial, y sucesivas fases de dilatación y menor temperatura en las cuales la materia se ha condensado hasta alcanzar la forma actual.



En estas dos páginas se recogen los momentos principales del origen del Universo y de su fin, que todavía no puede predecirse. Arriba, secuencia en la cual se muestran los primeros instantes en los que han tenido origen la energía, el espacio y el tiempo. Todo ello estaba encerrado en una pequeña esfera en la que reinaba un campo de radiación correspondiente a millones de millones de grados.

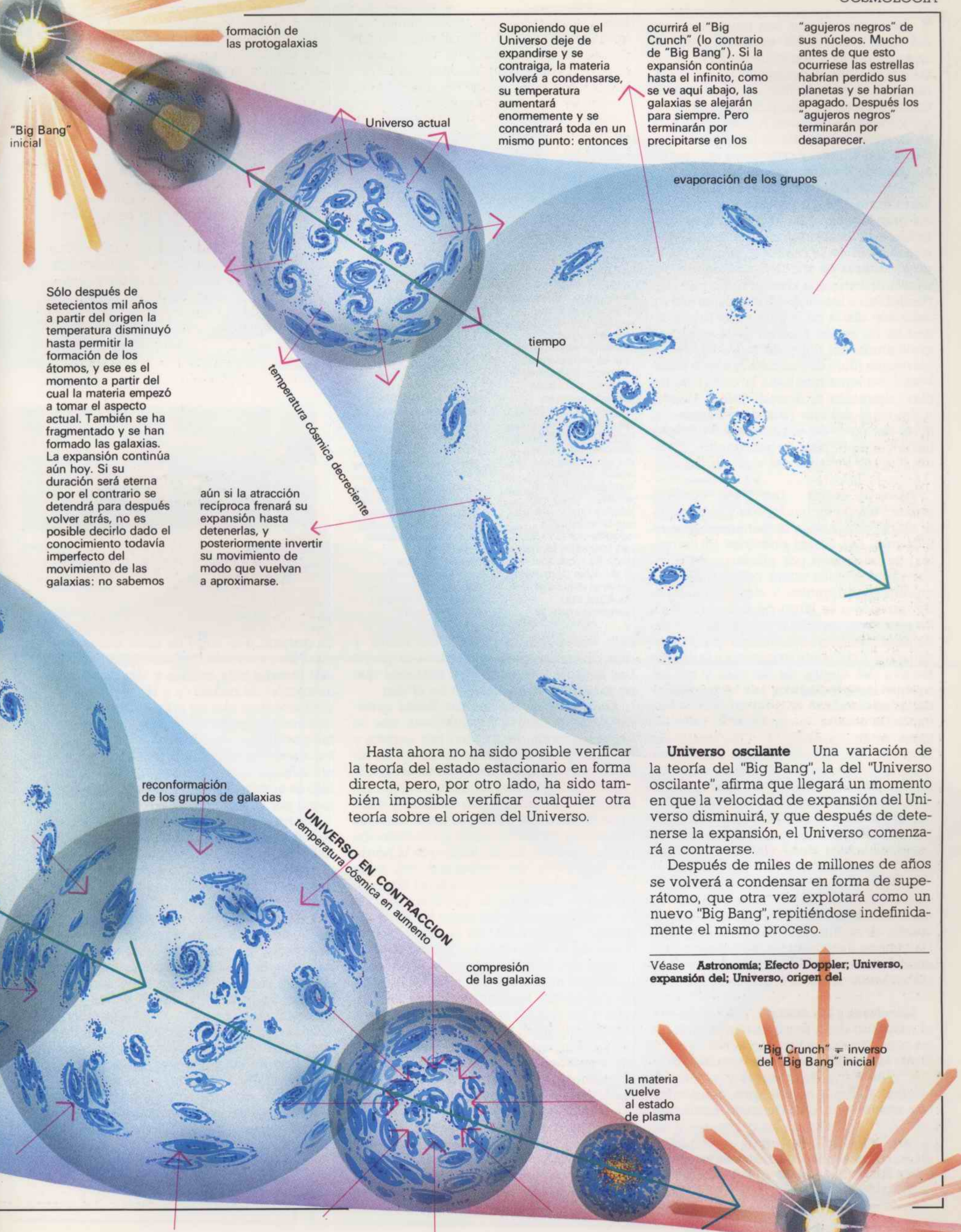
La rápida dilatación del espacio ha disminuido la temperatura del Universo inicial a "únicamente" cientos de millones de grados. La energía ha comenzado a materializarse en parejas de partículas y antipartículas, que después se aniquilan volviendo a formar energía, pero dejando un exceso de partículas ordinarias. En el primer minuto se ha formado el hidrógeno, y posteriormente, debido a la alta densidad y temperatura, se ha formado el helio, precisamente ese exceso que actualmente posee el Universo.

das de la nuestra puede ser determinada midiendo su luminosidad intrínseca, ya que cuanto más lejana se encuentra una galaxia, menor es la luz que de ella nos llega.

Teoría del Universo en expansión Uno de los más grandes descubrimientos de Hubble fue el hecho de que casi todas las galaxias parecen alejarse unas de otras a velocidades extremadamente elevadas. Obtuvo esta deducción a partir de un fenómeno denominado *desplazamiento hacia el rojo* (*red shift*), llamado también *desplazamiento por efecto Doppler* de las líneas espectrales. El desplazamiento hacia el rojo es un fenómeno observable, en el cual las longitudes de onda de las líneas del espectro parecen aumentar a medida que se va hacia la parte roja del espectro. Si se acepta como cierta esta teoría, el Universo parece encontrarse en un estado de continua expansión. Las dos teorías más aceptadas sobre el origen del Universo se basan en esta idea. La primera es la teoría del "Big Bang" o teoría evolutiva.

La teoría del "Big Bang" Según esta teoría, que actualmente es la más aceptada, el Universo comenzó con una inmensa explosión de un átomo primordial, hecho este que ocurrió en un instante situado entre hace 12.000 y 18.000 millones de años. En ese instante el Universo fue un inmenso relámpago. Expandiéndose, sin embargo, con todos los elementos que lo componen, se fue haciendo progresivamente menos luminoso y el espacio se convirtió en una gran nube oscura de hidrógeno. Con el tiempo, los efectos de la turbulencia y la gravitación transformaron en sólidos algunas partes de dicha nube, de esa forma aparecieron las primeras galaxias que a su vez se disgregaron en corrientes de estrellas. Finalmente, siempre según esta teoría, con el paso de otros miles de millones de años las galaxias se irán alejando cada vez más unas de otras, hasta que sea imposible ver más galaxias que la nuestra. Todas las estrellas de todas las galaxias, como consecuencia del colapso gravitacional, se transformarán en enanas blancas para terminar enfriándose y muriendo. De esta forma el Universo volverá a convertirse en un ente muerto, ese frío vacío que fue antes del "Big Bang" inicial.

Teoría del "estado estacionario" Esta teoría, menos aceptada que la precedente, sugiere que el Universo no ha tenido principio, que siempre ha existido en la forma actual. Continuará existiendo por toda la eternidad, con la constante creación de nueva materia en sustitución de la que se ha perdido por efecto de la recesión de las galaxias.



Suponiendo que el Universo deje de expandirse y se contraiga, la materia volverá a condensarse, su temperatura aumentará enormemente y se concentrará toda en un mismo punto: entonces ocurrirá el "Big Crunch" (lo contrario de "Big Bang"). Si la expansión continúa hasta el infinito, como se ve aquí abajo, las galaxias se alejarán para siempre. Pero terminarán por precipitarse en los "agujeros negros" de sus núcleos. Mucho antes de que esto ocurriese las estrellas habrían perdido sus planetas y se habrían apagado. Después los "agujeros negros" terminarán por desaparecer.

Sólo después de setecientos mil años a partir del origen la temperatura disminuyó hasta permitir la formación de los átomos, y ese es el momento a partir del cual la materia empezó a tomar el aspecto actual. También se ha fragmentado y se han formado las galaxias. La expansión continúa aún hoy. Si su duración será eterna o por el contrario se detendrá para después volver atrás, no es posible decirlo dado el conocimiento todavía imperfecto del movimiento de las galaxias: no sabemos aún si la atracción recíproca frenará su expansión hasta detenerlas, y posteriormente invertir su movimiento de modo que vuelvan a aproximarse.

Hasta ahora no ha sido posible verificar la teoría del estado estacionario en forma directa, pero, por otro lado, ha sido también imposible verificar cualquier otra teoría sobre el origen del Universo.

Universo oscilante Una variación de la teoría del "Big Bang", la del "Universo oscilante", afirma que llegará un momento en que la velocidad de expansión del Universo disminuirá, y que después de detenerse la expansión, el Universo comenzará a contraerse.

Después de miles de millones de años se volverá a condensar en forma de superátomo, que otra vez explotará como un nuevo "Big Bang", repitiéndose indefinidamente el mismo proceso.

Véase **Astronomía; Efecto Doppler; Universo, expansión del; Universo, origen del**

Costas

Las zonas costeras han tenido siempre una importancia especial para los descubridores y los colonizadores, y en definitiva para el desarrollo de las civilizaciones. En toda la Tierra, los continentes tienen un total de cuatrocientos cincuenta mil kilómetros de costa. A lo largo de ésta se localizan la mayoría de las grandes ciudades del mundo, y constituye la cuna de algunas de las culturas más antiguas.

La costa (o línea costera) es la parte de tierra firme que confina con el mar o con los grandes lagos. Sin embargo, esta definición es demasiado rígida respecto a lo que sucede en la realidad, ya que las líneas costeras se encuentran sometidas a constante variación, con un ritmo casi diario, debido a los efectos de las mareas (la variación diaria de la altura y la profundidad de las aguas, a causa de la atracción gravitatoria del Sol y de la Luna), de las corrientes (flujo direccional frontal o transversal del agua que baña la costa), de las olas (alteración provocada por el viento) y del nivel del mar (subida o bajada del nivel del agua en el planeta, en tiempos históricamente muy largos, debido al clima o al movimiento del sustrato rocoso).

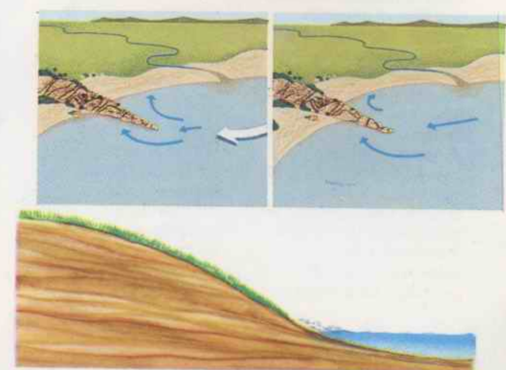
Tipos de costas Las líneas costeras pueden tener muchas formas y es corriente clasificarlas según la manera en que se formaron. Las *costas primarias* (o juveniles) se originaron por procesos geológicos rápidos, tales como coladas de lava volcánica, terremotos y desplazamientos de terrenos a lo largo de líneas de falla. Sin embargo, las costas primarias no persisten durante mucho tiempo, pues quedan inmediatamente expuestas a la acción erosiva del viento, de las olas y de los agentes meteorológicos. Las *costas secundarias* se clasifican en general con los términos de *erosivas* o *de depósito*. Estas últimas están formadas por depósitos de limo, arena y otros materiales transportados por las aguas. El material se deposita bien por acción del oleaje, como sucede a lo largo de la costa de Carolina del Norte (EE UU) y en el Mar Menor (Murcia, España), o bien por los ríos que llegan a su desembocadura, como en los deltas del Ebro y del Mississippi.

Las líneas costeras erosivas son el resultado de la lenta "corrosión" de las rocas ejercida por la acción de las olas, del viento, de las mareas y de otros agentes. Hay cuatro tipos principales de costas secundarias: las playas, los deltas de los ríos, los arrecifes de coral y las costas rocosas.

Las playas y los deltas Las playas son el resultado de la acción sedimentaria de las olas sobre la suave pendiente costera. Están formadas por gravas (cantos rodados, pesados y desiguales) y arena (en general, aunque no siempre, constituida por cuarzo con una delicada estructura granular). Las mareas, las corrientes y las tempestades influyen sobre la estructura de las playas y las formas relativas de la tierra firme. Las *barras* son depósitos terrestres de arenas que por lo general han sido transportadas por las corrientes y que discurren paralelamente a la playa. Las *lenguas* son depósitos análogos que se extienden adentrándose en el mar.

Los *deltas de los ríos* son líneas costeras bajas, húmedas y pantanosas, que se abren en forma de abanico, por encima y por debajo de la línea de flotación, en relación con las desembocaduras del río. El "suelo" del delta está formado por limo, arcilla, turba, fragmentos de conchas y otros tipos de material. La mayor parte de estos materiales es transportada en suspensión por la corriente fluvial, hasta que la pérdida repentina de velocidad del agua —cuando el río desemboca en el mar o en un lago— provoca la precipitación de esas minúsculas partículas en forma de sedimento. Los *arrecifes de coral* son el producto de la actividad de diminutos organismos marinos que dejan bajo el agua depósitos muy ricos en calcio. A la larga, esos depósitos emergen en forma de arrecifes y las olas, las mareas y las corrientes facilitan su unión en forma de islas compactas. A menudo, esos arrecifes constituyen verdaderos "pilares" o cimientos para el ulterior depósito de arena o de otros materiales.

promontorio
fiordo
acantilado
promontorio
playa
bahía
farallón



Arriba se han representado los accidentes y los fenómenos costeros más típicos. El mar modela y modifica de diferentes formas el tramo de tierra con el que se encuentra en contacto. Básicamente el efecto del oleaje sobre la costa se traduce en un trabajo de erosión o de depósito. En las costas jóvenes, que suelen, ser altas y rocosas, la acción del mar es fundamentalmente erosiva y tanto más intensa cuanto menor sea la resistencia opuesta por la roca. Las bahías se forman a partir de rocas friables, al ser éstas destruidas a mayor velocidad que las rocas más compactas que se encuentran a su lado, las cuales resisten y dan lugar a la aparición de un promontorio. El mar continúa su acción a los lados del promontorio hasta hacer que se forme un arco natural. La fase siguiente es el colapso de la roca que ocupa la parte alta, transformándose el arco en un farallón, que con el tiempo será fracturado y acabará desapareciendo.

Costas rocosas Las costas rocosas son esencialmente afloramientos de roca masiva, tallada por la erosión. Están caracterizadas por escolleras abruptas y de contornos irregulares y con altos perfiles. En general, a lo largo de estas líneas costeras las rocas más blandas experimentan una erosión más intensa y dan lugar a la formación de *bahías* (y a la larga, de playas), mientras que las más resistentes permanecen intactas, formando *cabos* (promontorios que se adentran en el mar). En los cabos tiene lugar una intensa acción erosiva del oleaje, mientras que en las bahías se acumulan los sedimentos transportados por el mismo.

La roca puede ser erosionada por el oleaje, por el viento, por la actividad química de microorganismos, por el ensanchamiento de fisuras provocado por la humedad y por la fuerza de la gravedad. Otra forma de línea costera, los *fiordos* de Noruega y de Alaska, con paredes abruptas y profundamente acanaladas, fueron excavados por enormes glaciares hace millones de años. Para proteger las zonas costeras cerca de los puertos y áreas habitadas, se han concebido distintos tipos de estructuras. Los *diques marítimos* protegen la costa del impacto directo de las olas, mientras que los *rompeolas* atenúan la acción de las olas antes de que alcancen la orilla. Los *espigones* son largos brazos que se extienden perpendicularmente a la línea de la costa para interrumpir las corrientes laterales y favorecer el crecimiento de la playas.

Véase **Arrecifes coralinos; Corrientes marinas; Erosión; Marea; Olas; Playa**

laguna

batería de espigones

lengua

arco natural

tómbolo

islote arenoso

atolón

En las bahías y en los estuarios las olas y las corrientes marinas depositan sus materiales de desecho —arena y cantos— transportados desde otras partes de la costa y otras rocas. De ese modo, tras largos períodos de tiempo, la costa alta y rocosa se rebaja, tornándose plana y arenosa. A la izquierda (entre las dos páginas) y debajo de estas líneas pueden verse dos secuencias horizontales, articuladas en cuatro fases, en las que se describe, respectivamente, el proceso de acumulación de los sedimentos detríticos sobre una costa baja, y el trabajo de demolición del movimiento del oleaje sobre una costa alta. En este segundo caso se ve que, en el punto donde el mar rompe con mayor fuerza, se forma una especie de garganta hacia dentro que descalza la escollera en su base.

perfil de la costa original

estratos de roca

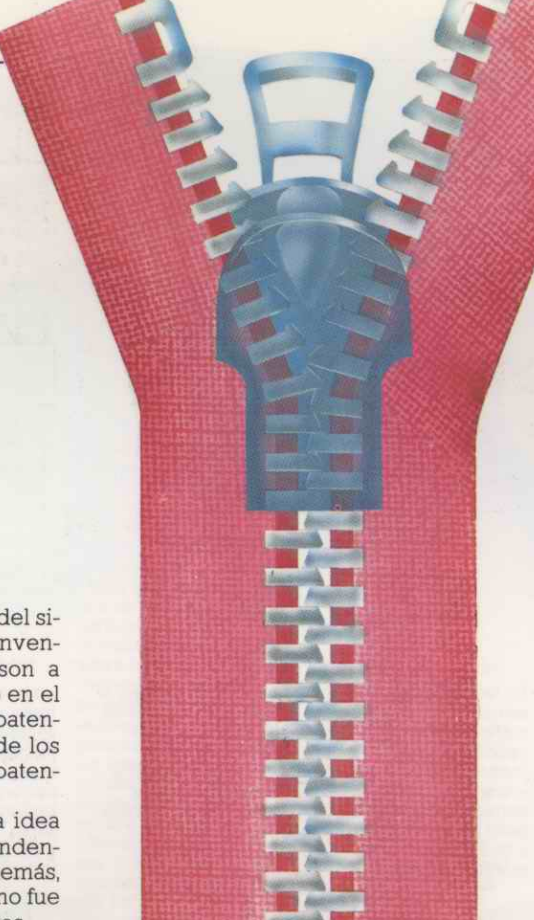
línea de costa

batería de espigones

Además de la naturaleza más o menos resistente de la roca, el tipo de erosión está influido por la forma en que están dispuestos los estratos de roca respecto a la línea de costa. Esto se puede apreciar en la secuencia vertical de la izquierda. La línea discontinua indica el perfil inicial de la costa. Sobre estas líneas, el avance de las olas sobre la playa es controlado y dirigido por las barreras constituidas por el hombre para impedir el desplazamiento paralelo a la costa de la arena y la grava. De hecho, normalmente las olas inciden contra la playa de manera oblicua debido al juego de las corrientes marinas, y por lo tanto, con la resaca, tienden a hacer que la arena y los cantos sean arrastrados según la línea de máxima pendiente.

Cremallera





La moda de las botas abotonadas del siglo XIX indujo al ingeniero e inventor estadounidense Whitcomb Judson a idear otro sistema de cierre, basado en el principio de gancho y ojete. Judson patentó su idea en 1893, pero a lo largo de los doce años siguientes obtuvo otras patentes de dispositivos mejorados.

Ese cierre de cremallera era una idea brillante, pero en la práctica tenía tendencia a abrirse de modo repentino. Además, debía ser fabricado a mano, porque no fue posible preparar máquinas adecuadas.

En 1905, Judson inventó otro tipo con los elementos de cierre individuales unidos a una cinta, en lugar de estar eslabonados en una cadena. Pero a pesar de esta mejora la cremallera aún no era satisfactoria, hasta que Gideon Sundback, ingeniero eléctrico sueco que había trabajado en la compañía de Judson, comenzó a mejorar el diseño. En 1913 inventó un cierre sin ganchos en el que todos los elementos individuales, o dientes, eran intercambiables. Inventó también las máquinas para estampar estos dientes y unirlos a la cinta. Sin embargo, no alcanzó un gran éxito.

Las cremalleras se emplearon por primera vez en prendas de vestir en 1918, cuando un confeccionista con un contrato para suministrar trajes de vuelo pidió varios miles de ellas. Las pruebas de duración realizadas por el Ejército gastaron el tejido pero la cremallera resistió. A partir de entonces su uso comenzó a extenderse cada vez más.

Cómo funciona una cremallera Las cremalleras modernas están formada por dos series de dientes metálicos, fijados en el borde de una cinta de tejido fuerte, cada uno de los cuales posee un pequeño saliente en la cara superior y un entrante en la parte inferior. Cuando el saliente del diente de un lado encaja con el entrante del diente situado en el otro lado, la cremallera se cierra. Los dientes son engranados por la corredera que posee dos guías por las cuales corren ambos lados de la cremallera, que luego convergen en una única guía, de forma que cuando se tira de la lengüeta se produce la unión de los dientes y el cierre es total.

Actuando en el sentido opuesto, la corredera deslizante separa los dos laterales y abre la cremallera. Para evitar que la corredera se salga una vez llegada al final de los dientes, se coloca, en la parte superior e inferior de las cintas, unos topes. Algunas cremalleras permiten que la corredera pueda soltarse de uno de los lados, en la parte inferior, para poder separar completamente ambos lados de la prenda, como en el caso de las cazadoras. Los elementos funcionales de la cremallera son generalmente de metal.

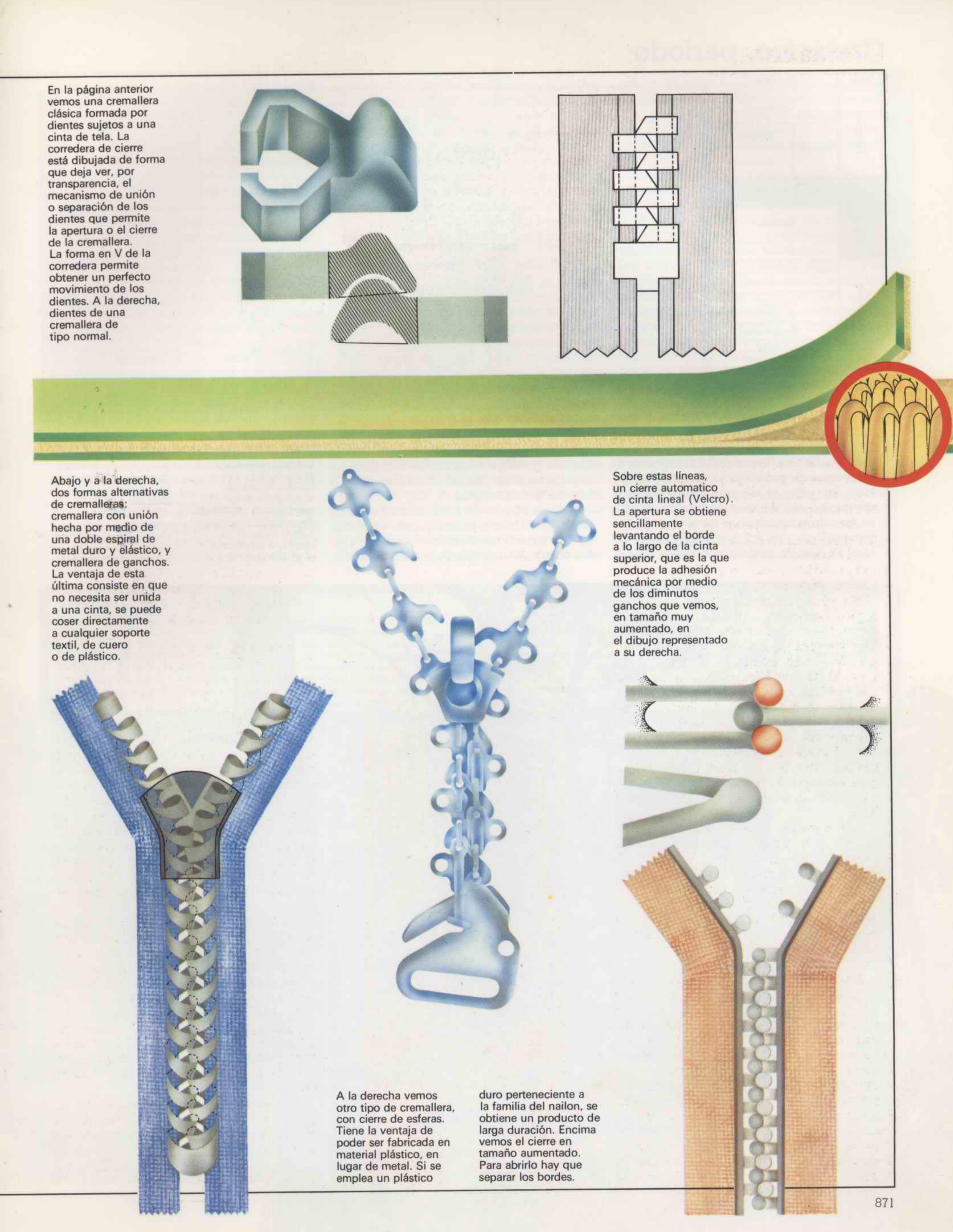
Cremalleras de plástico Una reciente innovación en el campo de las cremalleras hace que éstas sean menos visibles y más duraderas, y por consiguiente más prácticas para determinado tipo de vestuario. Las nuevas cremalleras, comúnmente llamadas "invisibles", se fabrican de plástico y sus laterales no están formados por dientes sino por espirales que se unen también con la corredera. Si esta cremallera se estropea, no es necesario cambiarla: pueden unirse las espirales si no están rotas. Las cremalleras de plástico, con igual función que las dentadas, tienen gran utilidad: para cierre de carteras de documentos, bolsas, fundas y determinadas prendas de vestir (impermeables, etcétera).

En la industria de la confección, una de las últimas novedades ha sido la introducción de máquinas automáticas que disponen de cintas de cremallera en rollo continuo. Estas máquinas cortan la cinta a la longitud deseada y la colocan y cosen en la prenda.

Estos tipos de cremalleras son muy distintos de los primitivos "cierres automáticos" inventados por Judson, aunque estén todavía basadas en el principio ideado por él.

Otros avances más recientes son las ingeniosas "cintas Velcro" y las cremalleras que no necesitan dientes y por tanto son más duraderas y seguras.

Véase **Confección textil**



En la página anterior vemos una cremallera clásica formada por dientes sujetos a una cinta de tela. La corredera de cierre está dibujada de forma que deja ver, por transparencia, el mecanismo de unión o separación de los dientes que permite la apertura o el cierre de la cremallera. La forma en V de la corredera permite obtener un perfecto movimiento de los dientes. A la derecha, dientes de una cremallera de tipo normal.

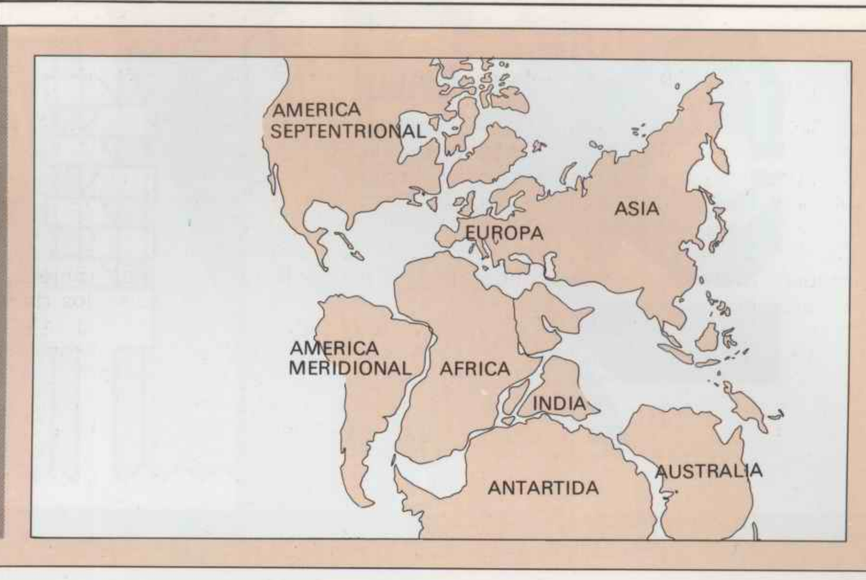
Abajo y a la derecha, dos formas alternativas de cremalleras: cremallera con unión hecha por medio de una doble espiral de metal duro y elástico, y cremallera de ganchos. La ventaja de esta última consiste en que no necesita ser unida a una cinta, se puede coser directamente a cualquier soporte textil, de cuero o de plástico.

Sobre estas líneas, un cierre automatico de cinta lineal (Velcro). La apertura se obtiene sencillamente levantando el borde a lo largo de la cinta superior, que es la que produce la adhesión mecánica por medio de los diminutos ganchos que vemos, en tamaño muy aumentado, en el dibujo representado a su derecha.

A la derecha vemos otro tipo de cremallera, con cierre de esferas. Tiene la ventaja de poder ser fabricada en material plástico, en lugar de metal. Si se emplea un plástico duro perteneciente a la familia del nailon, se obtiene un producto de larga duración. Encima vemos el cierre en tamaño aumentado. Para abrirlo hay que separar los bordes.

Cretácico, período

Años 10^6	Eras	Períodos	
	Cenozoica	Cuaternario	
1,8		Terciario	Neógeno
			Paleógeno
67	Mesozoica	Cretácico	
141		Jurásico	
195		Triásico	
230	Paleozoica	Pérmico	
280		Carbonífero	
347		Devónico	
396		Silúrico	
435		Ordoviciense	
500		Cámbrico	
570	Precámbrica	Proterozoico	
2.700		Arcaico	
4.000			



A la izquierda, los continentes durante el Cretácico: Australia, India, Africa y Antártida estaban unidos, y a ellos se unía también América del Sur. América del Norte, Asia y Europa formaban otro gran bloque. Es por lo tanto al final de la época de los grandes saurios cuando los continentes se separan. Pero mientras que algunos de ellos siguen siendo puentes de tierra a través de los cuales la fauna se puede desplazar, Australia queda aislada. En el Cretácico, el océano Atlántico es solamente un mar interior.

La Naturaleza ha empleado unos 65 millones de años en recubrir el canal de la Mancha de paredes calcáreas de 90 metros. Un geólogo belga, Omalius d'Halloy, denominó al intervalo de tiempo en que se formaron las blancas escolleras de Dover *período Cretácico*, del latín *creta*, denominación de este tipo de caliza blanca. Fue precisamente en ese período de la historia geológica cuando se formaron las imponentes escolleras calcáreas que le han dado su nombre.

Las escolleras de creta están formadas por capas de una caliza blanda constituida por minerales de calcio y por las partes duras de organismos marinos unicelu-

El paisaje cretácico pone de manifiesto cómo la flora vive en este momento el episodio de la aparición de las flores. Durante los setenta y cuatro millones de años que ha durado el período, se ha producido una gran evolución en la flora. Aún hay helechos y las coníferas están bien representadas. Al final del período aparecen algunas plantas como el chopo, el sauce, el laurel y el abedul.

Araucaria

Sequoia

Abies

Cycadaceae

lares, como los foraminíferos. Esas partículas, en el transcurso de miles de años, se acumularon en capas en el fondo marino.

Aspecto de la Tierra Al comienzo del período Cretácico, la mayor parte de las tierras emergidas aparece dividida en dos grandes masas: Gondwana al Sur y Laurasia al Norte. Los geólogos sostienen que América del Sur, Africa, India, Madagascar, Australia y Antártida formaban Gondwana, mientras que Europa, América del Norte y Asia formaban Laurasia.

En el transcurso del Cretácico, Gondwana se dividió en fragmentos más pequeños, que se movieron en dirección Norte hacia Asia. Probablemente América del Norte se unía a Europa por su extremo norte-occidental. Con este movimiento, los continentes sufrieron una serie de "transgresiones" oceánicas o inmersiones de la costa. Cada vez que las aguas se retiraban, sobre los brazos de tierra emergida quedaban zonas deprimidas con estratos de sedimentos que contenían fósiles marinos, y que lentamente se convirtieron en pantanos, y llanuras en las que se desarrollaron tupidas selvas.

Se produjeron frecuentes erupciones volcánicas en Japón, Birmania y Bengala. A consecuencia de los enormes plegamientos experimentados por la corteza terrestre, se formaron las Rocosas y los Andes. Las capas fangosas de sedimento aumentaron su espesor y la presión de los estratos que poco a poco se iban superponiendo comprimió los depósitos subyacentes, transformándolos en rocas que después se convirtieron en yacimientos de carbón, y en las zonas petrolíferas más productivas del mundo, en Venezuela, en el Oriente Medio, en el Mar del Norte y en grandes zonas de América del Norte.

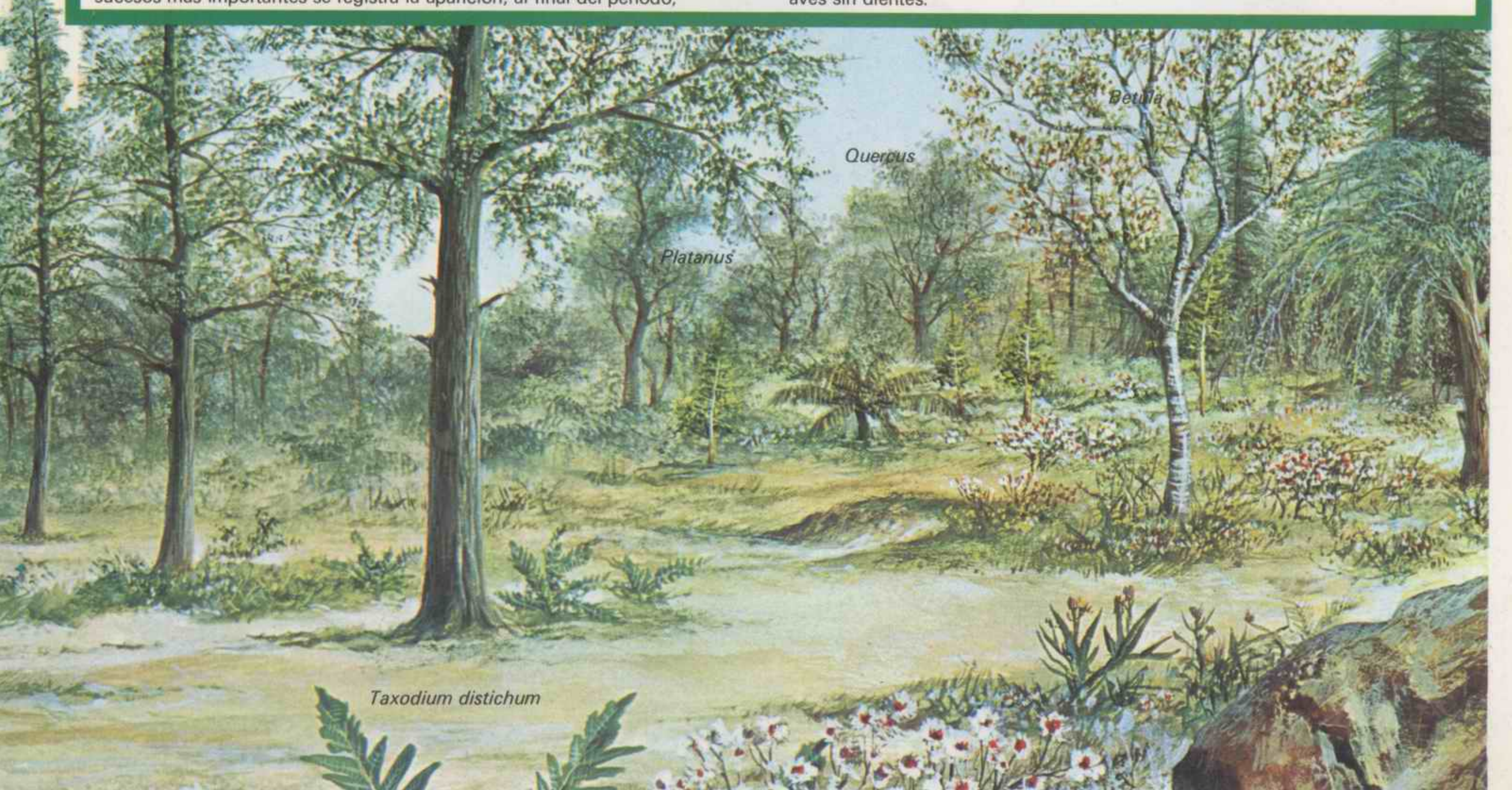
Dinosaurios y árboles de fruto La variedad de formas de vida que se originó durante el período Cretácico es extraordinaria. El clima era cálido y húmedo, y favoreció el desarrollo de un nuevo grupo de plantas, las *Angiospermas* (plantas con flores). Las higueras, las magnolias, las encinas, los abedules, los olmos, la vid, matorrales y hierbas formaban parte de esa nueva flora dotada de flores, que daba alimento y favorecía la vida de nuevas especies de insectos, como las mariposas. Pájaros y reptiles voladores surcaban los cielos, mientras que cocodrilos y tortugas vivían en los ríos menos profundos. Ostras, erizos de mar y cangrejos habitaban el fondo marino. Peces con esqueleto óseo nadaban por los mares templados.

El Cretácico es conocido a nivel popular principalmente por los dinosaurios. Algunos de estos enormes reptiles eran capaces de nadar, mientras que otros se movían por selvas y pantanos. Animales herbívoros se alimentaban con la nueva vegetación, que crecía cada vez más variada y abundante.

El tiranosaurio (*Tyrannosaurius rex*) se alimentaba de animales más pequeños y alcanzaba un tamaño de 6 metros de alto y 15 de largo. Pero, a pesar de sus enormes dimensiones, o precisamente por ellas, los dinosaurios no duraron mucho (en una escala de tiempo geológico). Por razones que aún hoy se desconocen, los dinosaurios, y otros animales, tales como los ammonites y los reptiles voladores, desaparecieron súbitamente al final de este período. Los científicos han atribuido esa repentina desaparición a causas tales como los meteoritos que caían sobre la superficie terrestre (que a su impacto emitía cenizas volcánicas, impidiendo el paso de la luz solar), a la competencia con el grupo de los Mamíferos, que iba rápidamente emergiendo, y a catástrofes de diversa índole. Pero, cualquiera que haya sido su causa, un nuevo grupo de animales, los Mamíferos, ocupó rápidamente la Tierra, indicando el comienzo de una nueva era gelógica, la Cenozoica.

Véase **Deriva continental; Geología**

Durante el período Cretácico, el mar cubrió vastas regiones de continentes y se retiró de áreas hoy en día sumergidas. Es en los sedimentos de este período en los que se encuentran los petróleos más antiguos o sus residuos tectonizados bajo forma de fracciones muertas, pesadas o de betunes. En cambio, no hay notables fases orogénicas, a excepción del único levantamiento de la cadena dorsal de las islas japonesas. La vida en los mares atraviesa un período de intenso cambio en las especies inferiores. Entre los sucesos más importantes se registra la aparición, al final del período, de los nummulites, que alcanzarán gran desarrollo en la Era siguiente, y la desaparición, siempre a finales del Cretácico, de los ammonites, que venían desarrollándose desde millones de años antes. Los grandes saurios, aunque están ya en declive, son numerosos durante todo el período, pero al final se extinguen inexplicable y rápidamente.
Aparecen los mamíferos y formas de reptiles que perdurarán en la Era siguiente, como las serpientes. Al final del período aparecieron las primeras aves sin dientes.



Criogenia

Cuando se enfría a un par de centenares de grados bajo cero, el helio gaseoso se transforma en un líquido que escapa de los contenedores desafiando la gravedad. Lejos de constituir una excepción, el helio es únicamente un ejemplo del comportamiento extraño que adoptan a tan bajas temperaturas las sustancias comunes. Ello se explica teniendo en cuenta que, en condiciones de temperatura extremadamente baja, las leyes de la Física no son aplicables del mismo modo que a temperaturas normales, o tienen efectos inesperados, a menudo imprevisibles. Sin embargo, a pesar de la singularidad de este mundo de las bajas temperaturas, la *Criogenia* (rama de la Física que estudia el comportamiento de la materia a temperaturas extremadamente bajas) encuentra muchas aplicaciones en la vida cotidiana.

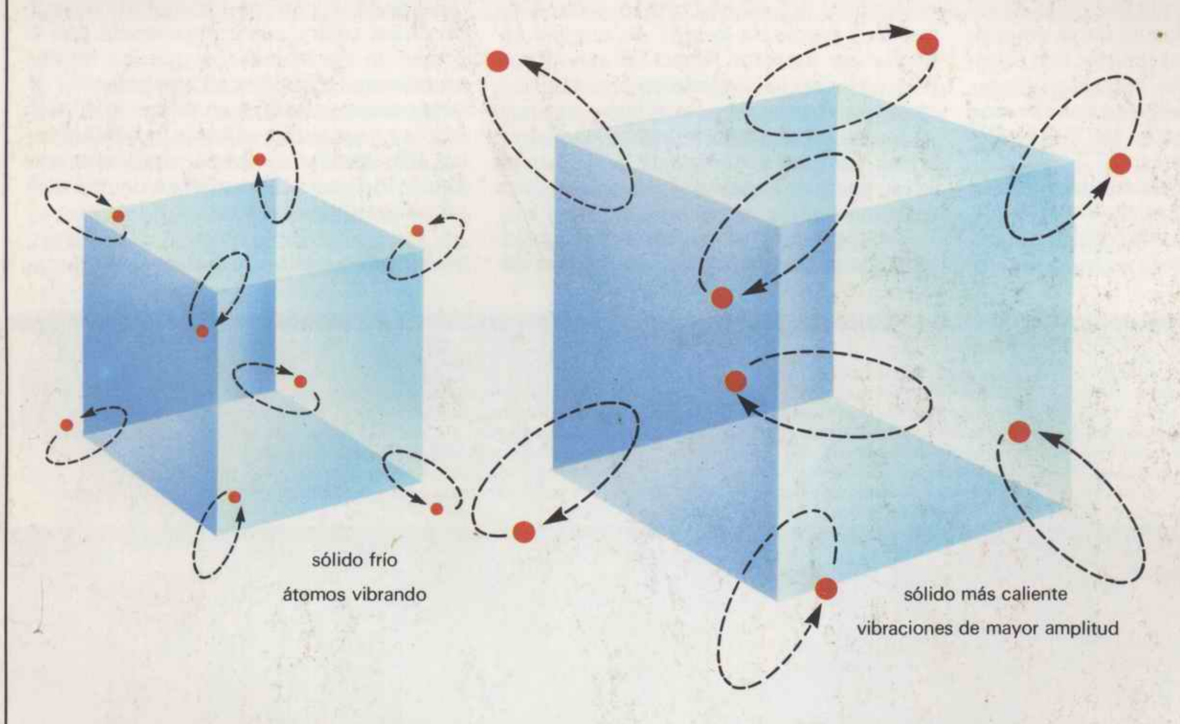
La Criogenia es una ciencia difícil de estudiar, ya que no es nada fácil alcanzar las bajas temperaturas necesarias para la experimentación. De este modo, el nivel de "frío" que necesita la Criogenia se sale de nuestra experiencia normal, hasta el punto de que para medirlas ha sido necesaria una escala de temperaturas especial, llamada *escala Kelvin*. La escala Kelvin fue inventada en el siglo XIX por el físico y matemático Willian Kelvin, que adaptó la escala termométrica Celsius. Los grados de la escala Kelvin son los mismos que los de la escala Celsius, pero mientras que en esta última el grado cero corresponde al punto de congelación del agua, en la escala Kelvin el cero corresponde a la menor temperatura posible, el *cero absoluto*. El cero absoluto equivale a –273,15 °C, unos 180 °C por debajo de la temperatura más baja registrada en la Tierra. Pensemos que un potente congelador industrial de hielo carbónico (dióxido de carbono en estado sólido) no baja de –56,67 °C, y comprenderemos la dificultad de disminuir en otros 220 °C la temperatura.

La razón por la cual el cero absoluto es la temperatura más baja que se puede alcanzar se encuentra en la misma naturaleza del calor. Cuando las moléculas se mueven o vibran, ese movimiento es en realidad *calor* o *energía térmica*. La medida del nivel de dicha energía térmica se llama *temperatura*. De ese modo, la medida de la temperatura de un cuerpo es únicamente un medio para medir el estado de vibración de sus moléculas. En el cero absoluto las moléculas no vibran, luego el cero absoluto indica la temperatura más baja que puede alcanzar un cuerpo. En realidad, sería más exacto decir que las moléculas en el cero absoluto no pueden moverse en forma apreciable por los medios actuales o ejercer acciones sobre otro cuerpo. Dicho de otro modo, la Criogenia estudia materiales cuyas moléculas se encuentran prácticamente inmóviles.

Los átomos y las moléculas ofrecen resistencia al intentar someterles a este estado de inmovilidad y tienden a absorber más fácil y rápidamente energía térmica. Dicho en otras palabras: es mucho más fácil aumentar la temperatura de un cuerpo que disminuirla. Es muy sencillo calentar un cuerpo (aumentando su movimiento molecular, y su nivel energético); sin embargo, para el enfriamiento del mismo cuerpo es necesario sustraer parte de dicha energía, lo cual es mucho más difícil. Todos tenemos experiencia de lo fácil que es encender un fuego en invierno, y crear una pequeña zona caliente en medio del frío, en comparación con la dificultad para crear una zona fría de equivalente densidad en el calor del verano, para lo que se necesitan máquinas especiales.

A pesar de esta dificultad, es posible utilizar varios procedimientos para sustraer de un cuerpo la cantidad de calor necesaria a fin de llevarlo a la gama de temperaturas de la Criogenia. Para ello, la sustancia que se desea enfriar se pone en contacto con otra que sea capaz de absorber rápidamente una gran cantidad de calor. Un ejemplo de esto lo da la producción de *aire líquido*. El aire líquido es aire normal pero tan frío —por lo menos a –194,35 °C— que pasa del estado gaseoso al estado líquido. Para obtener aire líquido se hace pasar aire a través de filtros que eliminan el polvo en suspensión; la siguiente etapa consiste en hacerlo burbujear en agua para eliminar impurezas. De ello resulta una mezcla de nitrógeno, oxígeno y algún otro gas en muy pequeñas proporciones, que es sometida a una presión de 210,9 kg/cm². Este aire comprimido se hace pasar a través de tubos sumergidos en agua fría. En el extremo de los tubos, una parte del aire se deja escapar libremente de modo que pase sobre los tubos que contienen el resto del aire comprimido. Las moléculas de aire liberadas de esta forma absorben gran cantidad de energía en forma de calor, cedido por el aire contenido en los tubos y que de esta forma se licúa en el proceso.

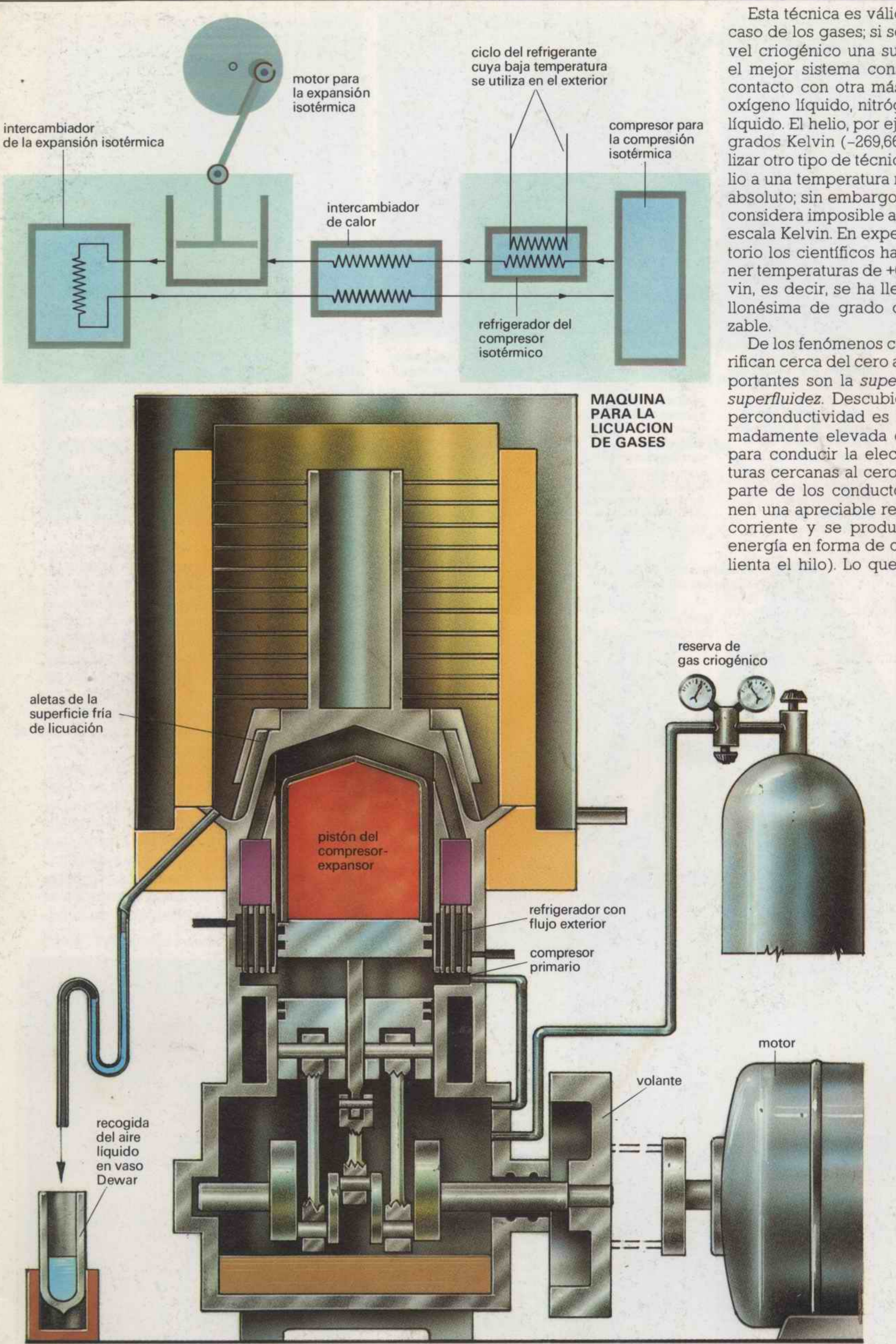
Un método más común para el superenfriamiento rápido utiliza cartuchos de dióxido de carbono, como los que se emplean para hinchar salvavidas o hacer agua de *seltz*. Si se sumerge uno de dichos cartuchos de gas comprimido en un vaso de agua y se deja salir el gas, éste absorberá una gran cantidad de calor y en pocos segundos el agua se transformará en hielo. Sin embargo, este experimento es muy peligroso y no debería realizarse nunca fuera de un laboratorio.



Para alcanzar temperaturas muy bajas, que se acerquen bastante al cero absoluto, es necesario utilizar los sistemas frigoríficos clásicos (descritos en la página siguiente) y después recurrir a la desmagnetización de los cristales. En un cristal los átomos no están inmóviles, sino que vibran de manera desordenada, con una amplitud que depende de la temperatura. Si se magnetiza una sustancia, sus átomos se orientan mientras vibran. Después se enfría y se quita el campo magnético; la orientación de los átomos desaparece sustrayendo calor al cristal.

Esta técnica es válida únicamente en el caso de los gases; si se quiere enfriar a nivel criogénico una sustancia no gaseosa, el mejor sistema consiste en ponerla en contacto con otra más fría, generalmente oxígeno líquido, nitrógeno líquido o helio líquido. El helio, por ejemplo, se licúa a 4,2 grados Kelvin (–269,66 °C). Es posible utilizar otro tipo de técnicas para llevar el helio a una temperatura más próxima al cero absoluto; sin embargo, por el momento se considera imposible alcanzar el cero de la escala Kelvin. En experimentos de laboratorio los científicos han conseguido obtener temperaturas de +0,000001 grados Kelvin, es decir, se ha llegado hasta una millonésima de grado de la meta inalcanzable.

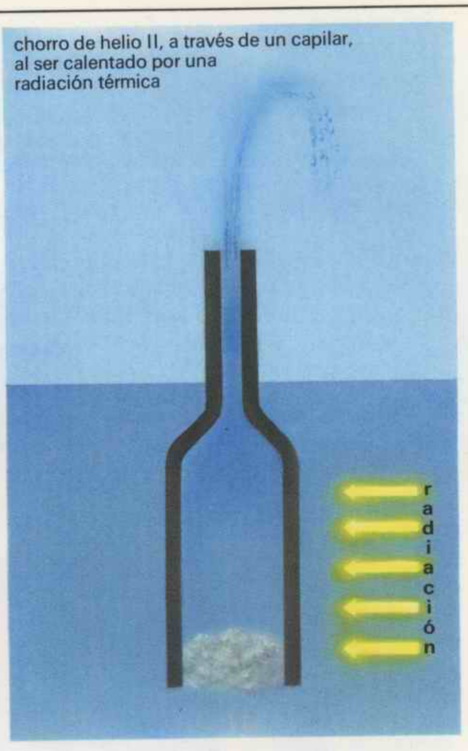
De los fenómenos conocidos que se verifican cerca del cero absoluto, los más importantes son la *superconductividad* y la *superfluidez*. Descubierta en 1911, la superconductividad es la capacidad extremadamente elevada de algunos metales para conducir la electricidad a temperaturas cercanas al cero absoluto. La mayor parte de los conductores metálicos oponen una apreciable resistencia al paso de corriente y se produce una pérdida de energía en forma de calor (por eso se calienta el hilo). Lo que ocurre con los su-



Arriba, método de refrigeración mediante compresión y expansión de gases. Es el método que se emplea también en los refrigeradores domésticos. Debajo se muestra la máquina para la licuación de gases. Se trata de un dispositivo de doble ciclo que permite licuar gases que, como el helio, necesitan temperaturas muy bajas. El método es siempre el de comprimir el gas y expandirlo bruscamente después de la refrigeración; la temperatura desciende hasta que se llega a la licuación.

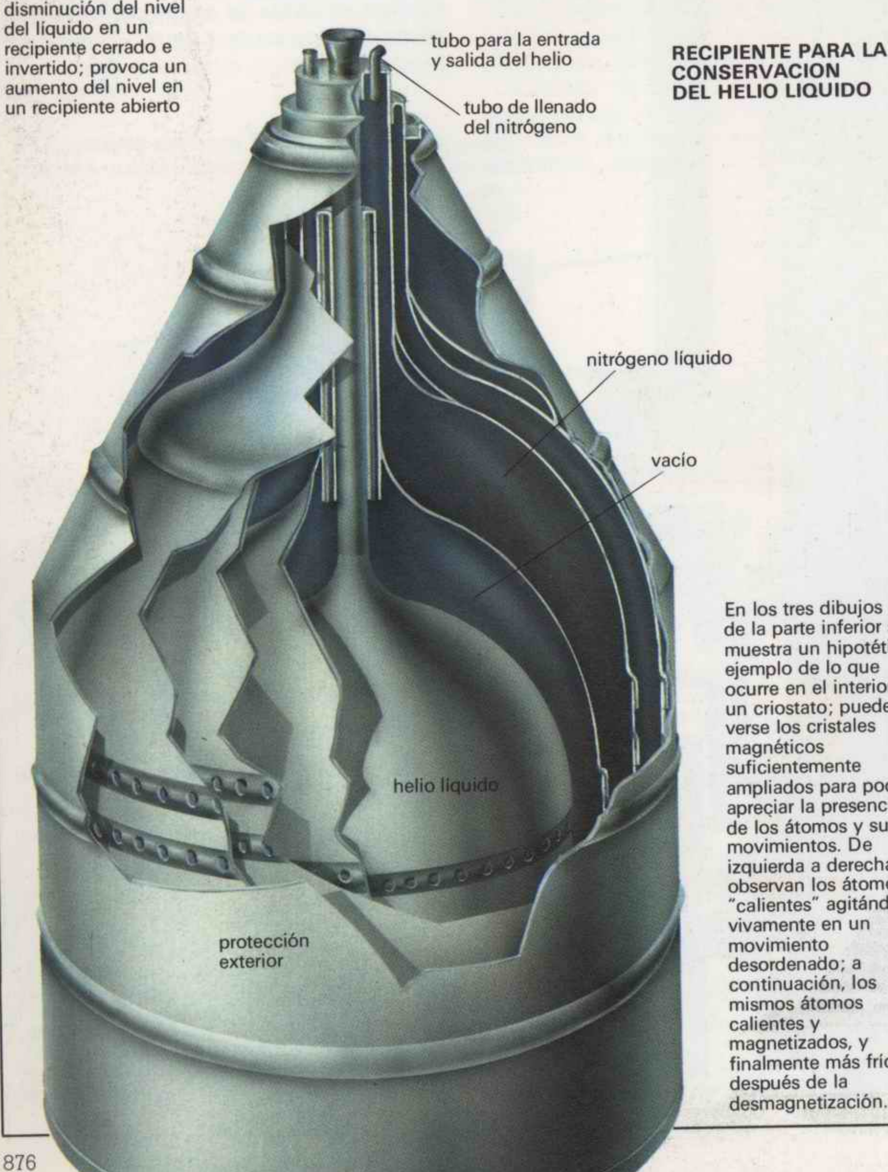






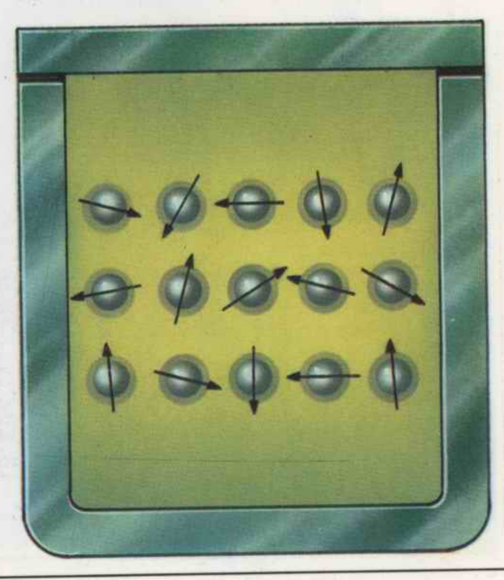
Arriba, algunos fenómenos que se verifican a temperaturas extremadamente bajas en el seno de un líquido como el helio, cuyo comportamiento es del todo anómalo respecto al de cualquier otro líquido. La tensión superficial provoca una disminución del nivel del líquido en un recipiente cerrado e invertido; provoca un aumento del nivel en un recipiente abierto en su parte superior y limitado por debajo por un capilar. Además, el helio asciende por las paredes y se vierte al exterior. Es el llamado *efecto surtidor*. Lo mismo ocurre en un recipiente cerrado en su parte superior por un capilar que comunica con la atmósfera, en el que se produce un chorro de líquido hacia arriba. Abajo puede verse un recipiente para la conservación del helio líquido. Debido a la temperatura extremadamente baja (unos cuatro grados sobre el cero absoluto), es necesario disponer de un aislamiento térmico excepcional, que se logra mediante múltiples recipientes de metal inoxidable, de pared delgada y herméticos, situados uno dentro de otro. Las superficies tienen acabado especular y entre uno y otro recipiente se hace el vacío. Es algo así como un termo de paredes múltiples.

RECIPIENTE PARA LA CONSERVACION DEL HELIO LIQUIDO



perconductores es que prácticamente no ofrecen resistencia al paso de corriente. A veces esta ausencia de resistencia es absolutamente sorprendente. Por ejemplo, si se induce corriente en un anillo de plomo sumergido en helio líquido, la corriente seguirá circulando por el anillo después de eliminar la fuente que la produce; es decir, la carga seguirá moviéndose casi eternamente en el plomo. En algunos laboratorios hay corrientes que circulan de esta forma desde hace decenas de años.

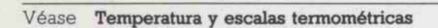
Esto se debe al hecho de que a temperaturas muy bajas los electrones se mueven en forma ordenada y pueden penetrar sin colisiones en los retículos cristalinos que constituyen el metal. Puesto que las colisiones citadas son las que determinan la resistencia del metal, las temperaturas extremadamente bajas favorecen el flujo prácticamente interminable de la corriente eléctrica.



En los tres dibujos de la parte inferior se muestra un hipotético ejemplo de lo que ocurre en el interior de un criostato; pueden verse los cristales magnéticos suficientemente ampliados para poder apreciar la presencia de los átomos y sus movimientos. De izquierda a derecha se observan los átomos "calientes" agitándose vivamente en un movimiento desordenado; a continuación, los mismos átomos calientes y magnetizados, y finalmente más fríos después de la desmagnetización.

La superfluidez es una propiedad exclusiva del helio líquido. Cuando el gas helio es enfriado hasta una temperatura de 2,19 K (aproximadamente –271 °C), sus propiedades cambian de un modo tan drástico que parece una sustancia completamente distinta. El helio líquido tradicional —helio entre 4,2 K y 2,19 K— es llamado *helio I*, mientras que por debajo de 2,19 K recibe el nombre de *helio II*. El helio II es una extraña sustancia que maravilla a los experimentadores: escapa de los contenedores y se mueve a través de capilares que serían demasiado estrechos para líquidos normales. Las razones de este sorprendente comportamiento se conocen sólo en parte. Los científicos suponen que se debe a la peculiar estructura atómica de esta sustancia, que puede producir interacciones energéticas extrañas e irregulares en determinadas condiciones límite.

Sin embargo, la superconductividad y la superfluidez no constituyen el único objeto de estudio de la Criogenia. Como esta nueva ciencia se ocupa de materiales con energía térmica molecular a niveles muy bajos, también estudia sistemas con ordenación molecular casi perfecta. A temperaturas próximas al cero absoluto, los átomos y las moléculas tienden a permanecer en reposo en lugar de oscilar alrededor de sus posiciones correspondientes en la estructura de la sustancia en cuestión. Esto significa que algunos fenómenos, como la electricidad y el magnetismo, se estudian con más facilidad a bajas temperaturas, ya que los procesos en que intervienen se complican con los efectos de la energía térmica. Tal y como ocurre con la superconductividad, determinados procesos se verifican mejor a baja temperatura, lo que podría ser de gran utilidad, aportando notables mejoras en el rendimiento de motores, generadores, electroimanes, en la transmisión de energía y en el campo de la Astronomía y de la Astronáutica.



Véase **Temperatura y escalas termométricas**

CRIOSTATO

conducto de la bomba que mantiene el helio en evaporación

imán

contenedor

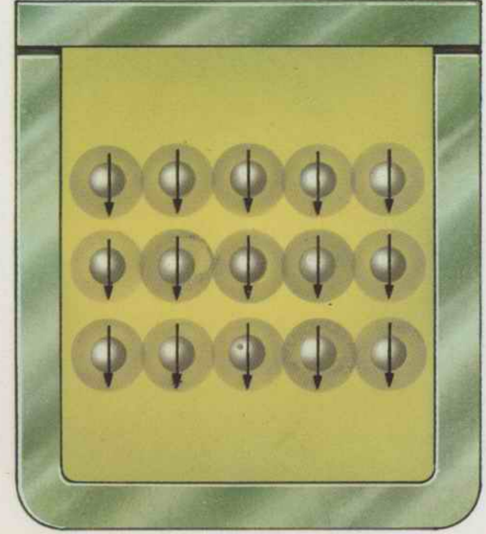
muestra

bobinados de conductores para los campos magnéticos

recipiente Dewer exterior para nitrógeno líquido

vaso Dewar para el helio líquido

En la imagen a la izquierda de estas líneas puede verse el dispositivo utilizado para la desmagnetización de los cristales en la obtención de bajas temperaturas. En su parte inferior se aprecian las expansiones polares del imán alrededor de la parte más fría del criostato. Este es de doble pared: en la más exterior circula nitrógeno líquido, y en la interior, helio líquido. La muestra a enfriar se coloca en la ampolla o *contenedor* que se ve con más detalle a la derecha. El mayor problema de las bajas temperaturas consiste en medirlas.



Criptografía

Exactamente dos semanas antes del primer ataque japonés de 1941 contra Pearl Harbor, los agentes del servicio secreto norteamericano captaron una conversación telefónica entre dos altos oficiales japoneses, uno de los cuales se encontraba en Tokio y el otro en Washington. La conversación fue poco más o menos la siguiente: "¿No parece que va a nacer un niño?". "Sí, el nacimiento del niño parece inminente". Incapaz de ocultar su sorpresa, el primer interlocutor volvió a preguntar: "¿Pero es verdad?... ¿En qué dirección?". Y continuaron en estos mismos términos. Estaba claro que el nacimiento de un niño indicaba, según una clave secreta, algún tipo de operación militar y que las personas que utilizaban dicho código no tomaron las debidas precauciones para garantizar su seguridad. El hecho de que "el nacimiento" se refiriera al "inicio de la guerra" —el éxito del ataque contra Pearl Harbor dependía precisamente de lograr mantener el secreto— demuestra la importancia de los códigos en las actividades militares y diplomáticas.

Arriba, un sistema de criptografía utilizado por los antiguos griegos. Una fina y estrecha cinta de fibra animal o vegetal llevaba escritas unas letras a lo largo de ella. Era necesario envolver la cinta sobre un cilindro de un diámetro apropiado para alinear las letras y poder descifrar el mensaje. Solamente el que tenía conocimiento de que había que envolver la cinta, y sobre qué diámetro, podía descifrarlo.

Códigos y claves Los códigos y las claves existen desde que el hombre tuvo necesidad de enviar mensajes cuyo significado quería mantener oculto a otras personas que podían interceptarlos. No es siempre importante la evidencia de que efectivamente se trate de un mensaje secreto, aunque algunas veces se tiene la intención de formular los mensajes de tal forma que el lector o el escucha casual no noten nada fuera de lo corriente. La palabra en código "nacimiento" fue establecida para pasar inadvertida; sin embargo, si no hay necesidad de ocultar que se trata de un mensaje secreto, una comunicación en código del tipo XX SQGFG WLRST FHO es generalmente eficaz, aunque llame más la atención.

La técnica de formular los mensajes de manera que la persona no autorizada no sea capaz de comprenderlos se llama *criptografía*.

El mensaje original es definido como *texto no cifrado* y mediante un proceso conocido como *puesta en clave* se transforma en un mensaje secreto, llamado *criptograma*. Con el proceso inverso, llamado *descifrado*, obtenemos el mensaje en su forma original.

Sistemas alfabéticos Cuando se pone en clave un mensaje, se hace sin tener en cuenta el significado de su texto. Generalmente se cambian las letras, una por una, siguiendo dos técnicas fundamentales. La primera consiste en una serie de cambios establecidos entre las dos partes que se comunican y es conocida con el nombre de *sistema general*. La segunda, sin embargo, consiste en una *clave* variable que es utilizada para efectuar una segunda transformación de los símbolos que interesan. El empleo de una clave variable hace más difícil el descifrado por parte del enemigo, aunque conozca el sistema general utilizado. Un ejemplo nos aclarará mejor este punto. El sistema general está siempre basado en la *transposición* o en la *sustitución*. La transposición consiste generalmente en escribir el mensaje letra por letra según un orden convencional sobre un retículo geométrico. El mensaje puede escribirse línea por línea de izquierda a derecha y de arriba a abajo, desplazándose después a un segundo rectángulo cuando el primero está completo. Si, por ejemplo, el mensaje a transmitir es NOS FALTA COMBUSTIBLE Y MUNICIONES, puede transcribirse de la siguiente forma (las letras añadidas al final toman el nombre de *relleno*).

NOSF MUNI
ALTA CION
COMB ESAB
USTI CDEF
BLEY GHIJ

Todo esto puede transformarse (por ejemplo, según un orden vertical) en NACUB OLOSL STMTE FABIY MCECG UISDH NOAEI INBFJ. Esto constituye un ejemplo de transposición sin clave. Sin embargo, otras veces puede utilizarse una clave para establecer el tamaño y la forma del retículo empleado y el orden según el cual hay que separar las columnas de letras. Por ejemplo, si la clave es CIMA CACAO, el número de letras de las dos palabras —4 y 5— puede determinar el tamaño y forma del retículo (4×5), y el orden alfabético de las letras de la primera palabra puede establecer el orden según el cual se toman las columnas de letras del retículo. Es decir, que las letras de la palabra C-I-M-A se colocan sobre las cuatro columnas de cada retículo y luego se cogen según su orden alfabético A-C-I-M, formando el mensaje transpuesto FABIY, NACUB, OLOSL, STMTE..., que es transmitido a continuación. El receptor del mensaje, que conoce la clave y el sistema general, puede coger simplemente el mensaje tal y como ha sido transmitido y colocarlo, columna por columna, sobre una pareja de retículos 4×5, partiendo de la columna 4.ª, después la 1.ª, 2.ª y 3.ª hasta llegar al mensaje original.

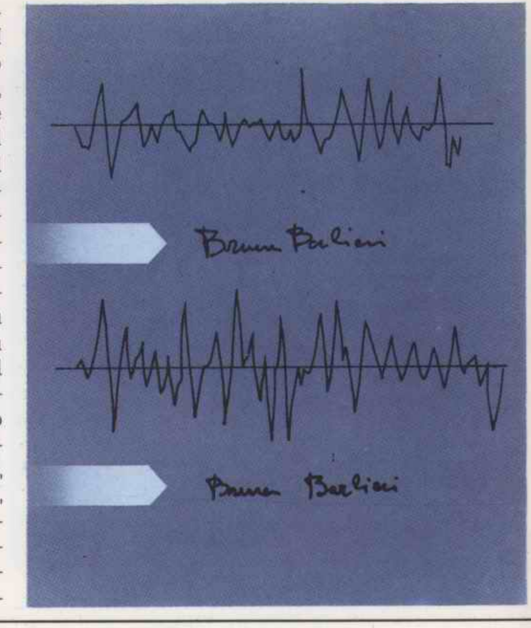
Código cifrado por sustitución En este caso, el método más sencillo consiste en sustituir cada letra del texto original por la letra que se encuentra antes o después en el alfabeto. Por ejemplo, la palabra PELO, utilizando este método, puede escribirse ODKN o bien QFMP. Podrán también acoplarse las letras del alfabeto tradicional con las de otro cuyas letras sigan distinto orden. Por ejemplo:

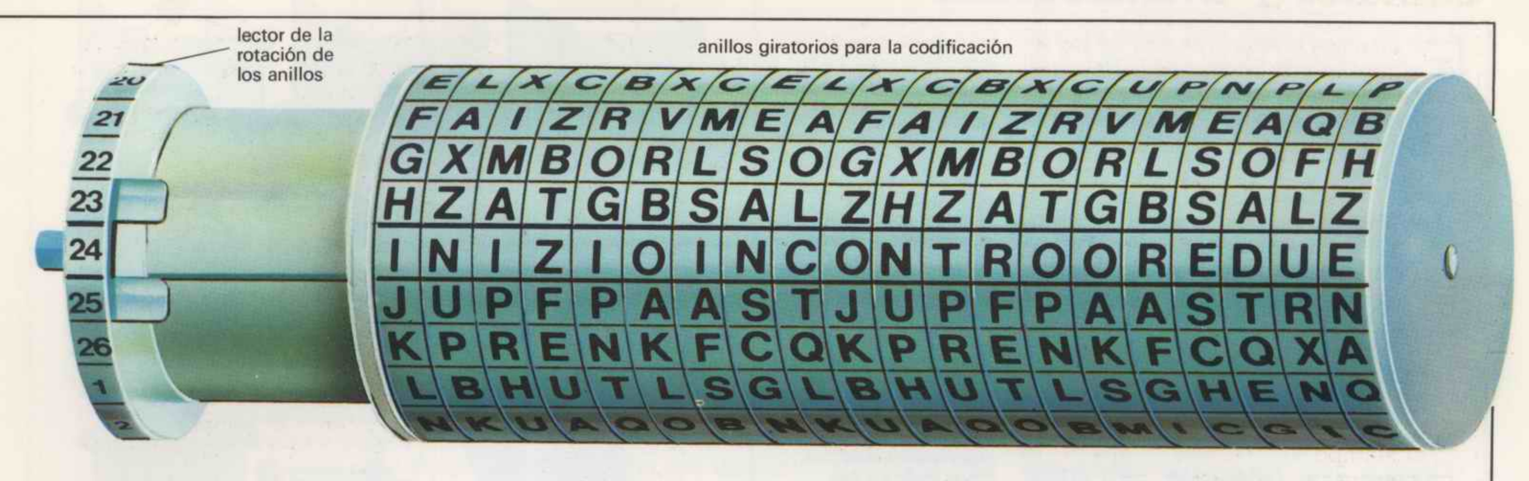
Original A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z

Código Q W E R T Y U I O P A S D F G H J K L Z X C V B N M. En este caso las letras del texto original del renglón superior son sustituidas por las correspondientes del inferior.

Este sistema puede llegar a ser más

Abajo, un moderno sistema para controlar una firma. Esta puede contener un mensaje, pero si fuera apócrifa se prestaría a la transmisión de un mensaje falso. Por lo tanto el control de la autenticidad de una firma es muy importante y no siempre puede ser confiado al hombre. Se aprecia cómo el analizador de firmas las transforma en un diagrama oscilatorio, cuya forma es muy distinta en el caso de dos firmas que a simple vista parecen similares, aunque una de las dos está falsificada.





Arriba, un instrumento para transmitir mensajes que ha sido el caballo de batalla en las pasadas guerras. Este sirve para cifrar, según un sencillo sistema de transcodificación. Se escribe el mensaje sobre una línea del cilindro y luego se gira cada anillo un ángulo distinto que hay que recordar y que debe conocer el destinatario. El renglón aparece entonces completamente alterado y no se puede descodificar el mensaje basándose en la frecuencia de las letras (las letras *e* y *a*, por ejemplo, en muchos idiomas son más frecuentes). Hoy en día una calculadora automática puede descifrar fácilmente este código secreto, razón por la cual este dispositivo ha quedado superado en países supertecnificados.

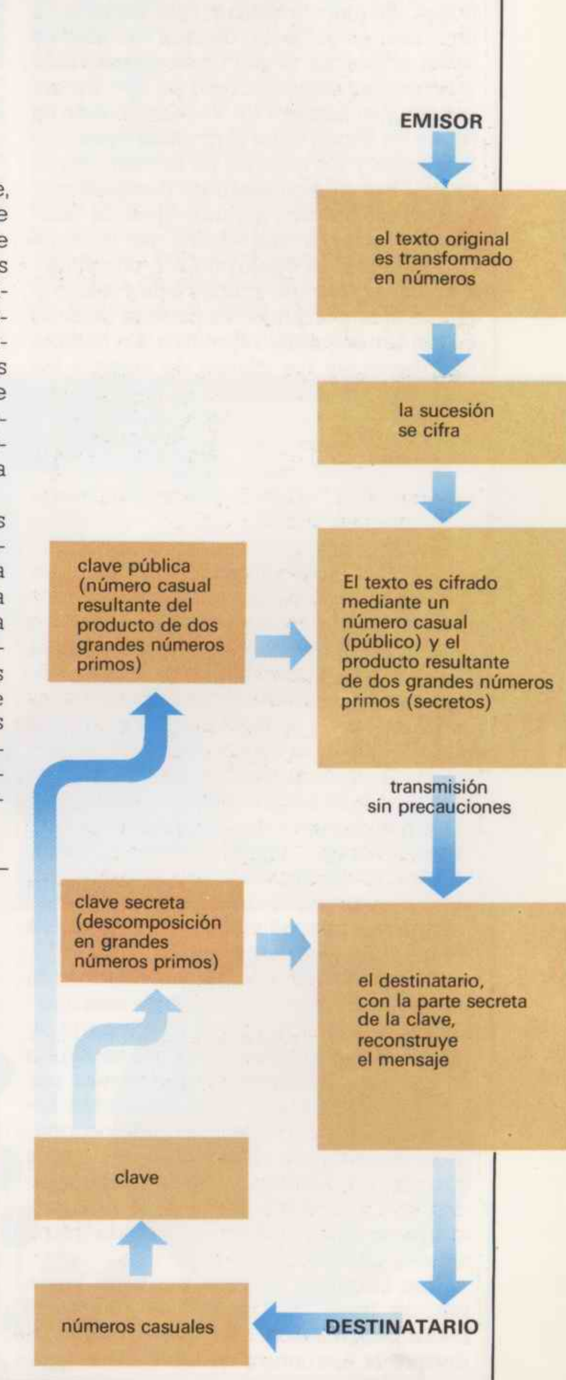
complicado cambiando las tablas de sustitución a intervalos regulares o irregulares. Pueden utilizarse además ambos métodos de transposición y sustitución para cifrar un mensaje. Existen también muchas otras técnicas más complicadas para formular códigos. Por ejemplo, es posible utilizar una rejilla para ocultar parte del mensaje que ha sido dispuesto ordenadamente en un cuadrado colocado debajo de este retículo. Después se gira 90° una vez que las letras visibles han sido transcritas en su posición. El retículo debe estar hecho de tal forma que todas las letras aparezcan cada cuatro posiciones. En algunos sistemas se utilizan dos letras para sustituir una del texto original. A veces se escogen unas letras o unas parejas de letras, según el criterio de la persona que cifra el mensaje. En la escritura cifrada *Playfair*, que fue utilizada durante mucho tiempo por el Ministerio de Asuntos Exteriores inglés, dos letras del texto original eran cifradas juntas, representándolas con una pareja de letras cifradas.

Sistemas codificados Si se cifran sílabas, palabras y hasta frases enteras en lugar de letra por letra, el sistema toma el nombre de *código*, como en el caso descrito en el cual "nacimiento", según el código, significaba "inicio de la guerra".

Los sistemas codificados no sólo se utilizan en el campo militar y diplomático sino también en el mundo de los negocios. En algunos casos es importante el secreto, mientras que en otros la sencillez, la velocidad con la cual se transmiten los mensajes y la brevedad son los requisitos principales. Las palabras y las frases que componen el mensaje que hay que transmitir son buscados en un libro de claves, en donde al lado de cada una de ellas se encuentra una serie de claves alfabéticas o numéricas que no tienen ninguna relación lógica con las palabras o frases que van a sustituir. Las frases largas que se utilizan con frecuencia se cifran juntamente, tanto por razones de seguridad como de velocidad. Pueden además efectuarse otras transformaciones sobre las palabras en clave (como transposición o sustitución) antes de enviar el mensaje. Es prácticamente imposible descifrar los mensajes cifrados sin utilizar el libro de claves y es esta la razón por la cual la captura de un libro de claves en un submarino enemigo durante la II Guerra Mundial revestía un acontecimiento de gran importancia militar.

Después del año 1817 fueron ideadas unas máquinas para cifrar y descifrar automáticamente los mensajes. Hoy en día las computadoras realizan esta función. La mayor rapidez y la gran capacidad para memorizar los datos hacen que las computadoras sean particularmente aptas para el cometido de descifrar, caso de que haya que examinar muchas posibilidades antes de llegar a la solución correcta. Gracias a ellas ha sido posible descifrar códigos que hasta hace pocos años se juzgaron incomprensibles.

Véase **Lenguaje y lenguas**



El esquema que vemos a la derecha muestra cómo opera el sistema más moderno de codificación. Se trata de la *criptografía con clave pública*. Realmente es posible dar la clave de codificación utilizada junto con el mensaje, ya que dicha clave no es secreta. Sin embargo, la lectura del mensaje quedará reservada sólo para los que dispongan de una calculadora que contenga una información secreta: la descomposición de dos factores primos de un número de alrededor de 120 cifras. El que intentara descifrar esta segunda clave terminaría por destruir la información del número, ya que no es posible con los conocimientos matemáticos actuales descomponer con el cálculo un número tan grande. Este método es, por lo tanto, el más seguro. En este sistema criptográfico puede definirse el número *n* como parte de la clave, ya que ninguna calculadora puede descomponerlo en números primos.

Cristales y Cristalografía

Los cristales constituyen uno de los fenómenos más bonitos de la Naturaleza. Los científicos y aquellos que practican la cristaloscopía han quedado fascinados durante siglos por sus caras perfectamente lisas, por sus bordes apuntados y por sus brillantes y vivos colores.

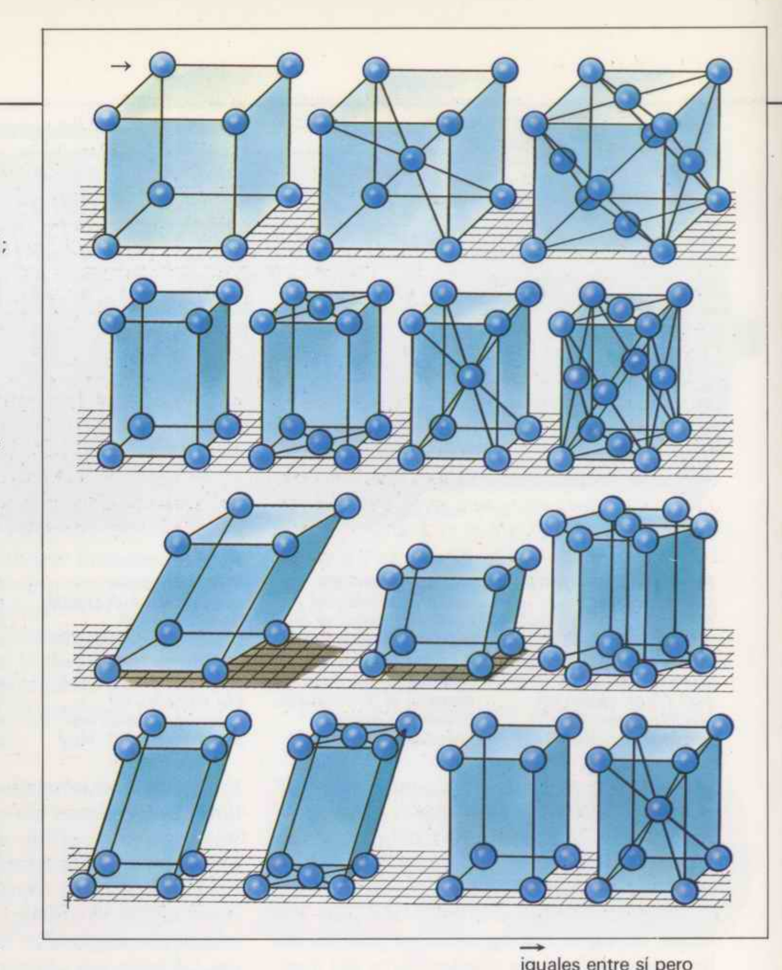
Los cristales poseen una elegante sencillez que los hace parecer auténticos y al mismo tiempo creados artificialmente. Pero además se encuentran entre los materiales industriales más útiles. Los cristales son componentes esenciales de los aparatos de radio y televisión, de los relojes, de los tocadiscos y de muchos otros tipos de aparatos electrónicos.

Atomos y su ordenación Un cristal, como cualquier otra sustancia, está compuesto de átomos, pero lo que distingue a un cristal es el hecho de que sus átomos están colocados según un esquema único y repetitivo (llamado *red*); el tipo de esquema y el número de veces que éste se repite no tienen entre sí ninguna conexión. Los gases y los líquidos no forman ningún cristal, sus átomos están en continuo movimiento. El vidrio, algunos tipos de plásticos y algunas variedades de la sílice (por ejemplo, el ópalo) no son cristalinos, a pesar de que sus átomos estén relativamente fijos, porque no se pueden ordenar según un esquema repetitivo. En cambio los diamantes, los granos de arena y los copos de nieve son cristales. También sus átomos están en constante movimiento y sólo en el cero absoluto (alrededor de —273 °C) cesa este movimiento, aunque en general la posición de los átomos permanece invariada.

Se entiende por sustancia cristalina aquélla cuyos átomos están colocados según un único esquema repetitivo. Para ser definida como tal no es necesario que una sustancia tenga el tamaño de una esquirla de diamante, puesto que si ésta la dividimos en dos, ambas mitades seguirán siendo cristalinas, y si repetimos este proceso hasta llegar a las dimensiones de granos de sal, la cosa no cambia. Incluso aunque pulvericemos estos pequeños trozos hasta formar un polvo cuyas partículas tengan un diámetro de una centésima de centímetro, éstas seguirán siendo cristalinas, puesto que en cada uno de los pequeños fragmentos apenas visibles la disposición de los átomos es constante.

¿Y qué decir de una sustancia formada por un conjunto de partículas de este tipo? En ese caso, cada átomo formaría parte de un grupo, junto a otros átomos, según un mismo tipo de esquema, que resulta por lo tanto fragmentado en varias partes. Estos fragmentos estarán orientados en muchas direcciones. Todo esto se puede comparar a un campo lleno de grupos que marchan, cuyos miembros siguen la misma formación, pero en donde cada grupo tiene una dirección distinta.

Una sustancia de este tipo (por ejemplo, un trozo de granito) se denomina *masa policristalina*. Se llama "cristalina" porque la estructura de los átomos existentes es siempre la misma. La masa policristalina se forma cuando grupos de átomos empiezan a formar el mismo tipo de esquema, en posición distinta pero simultáneamente, y estos esquemas, al final, se funden unos con otros. A esta categoría pertenecen no sólo los diamantes, los granos de sal y las sustancias cristalinas con inclusiones arenosas, sino también el hierro y todos los demás metales.



Los catorce tipos de redes de Bravais. En la primera fila, arriba, a partir de la izquierda: cúbica primitiva o cúbica P; cúbica centrada en el interior I; cúbica de caras centradas F. Para describir estas redes se adopta el convenio de que el vértice de partida es el de la izquierda de la base superior; en el caso de la celdilla cúbica primitiva P, este vértice está indicado por una flecha. En la segunda fila, a partir de la izquierda: celdilla ortorrómbica primitiva P que tiene los tres lados perpendiculares pero diferentes entre sí. Sus variantes son tres: ortorrómbica de bases centradas C, ortorrómbica centrada en el interior I y, finalmente, ortorrómbica de caras centradas F. En la tercera fila, a partir de arriba, están dibujadas las redes: triclínica primitiva P, en la que las caras y los ángulos son todos diferentes; trigonal o romboédrica R, con los ángulos iguales y los lados → iguales entre sí pero diferentes de 90° y hexagonal C. En la cuarta fila: celdilla monoclínica primitiva P, monoclínica de bases centradas C; tetragonal P y tetragonal centrada en el interior I.

grafito

Estructura de los cristales Existen muchos tipos diferentes de cristales, según el tipo de ordenación de los átomos que se repita. Esta colocación se representa a menudo mediante una figura tridimensional *—celdilla elemental—* de su unidad fundamental, figura que muestra cómo se disponen los átomos para formar la estructura básica del cristal.

No todas las configuraciones se pueden repetir para formar cristales. Para que esto suceda, la configuración debe ser simétrica, es decir, tiene que contener unos elementos que se reflejen uno con otro mediante un operador de simetría que puede ser un plano, un punto, un centro, un eje o combinaciones de ellos. Además, no todos los esquemas se pueden repetir en tres dimensiones. Existen 32 configuraciones cristalinas posibles. Los cristalógrafos, es decir, los que se dedican al estudio de los cristales, agrupan estas 32 clases de simetría en siete sistemas más amplios

(según la distintas relaciones existentes entre los ejes), que son: cúbico, regular o isométrico; tetragonal; hexagonal; romboédrico o trigonal; rómbico; monoclínico; triclínico.

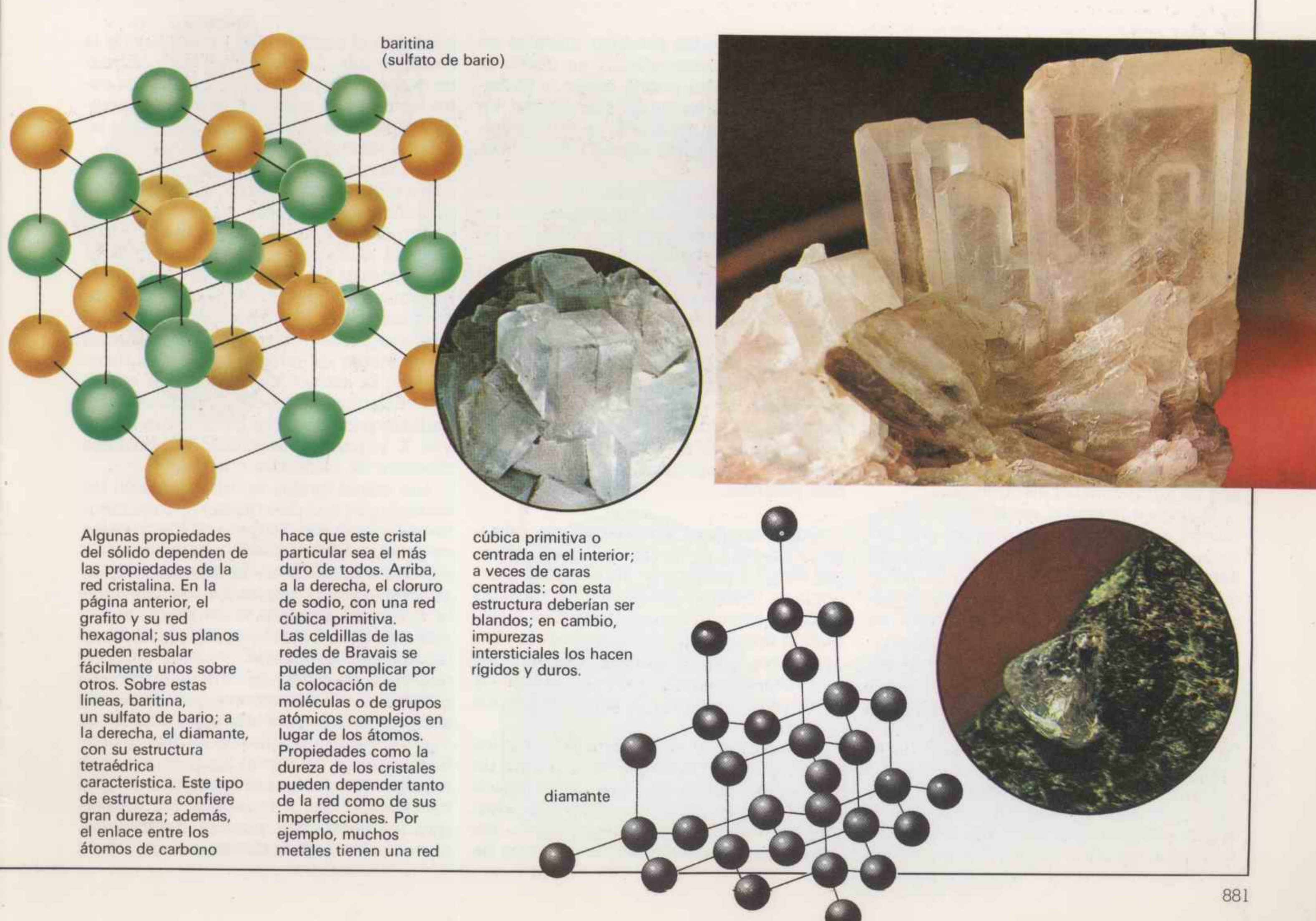
Existen cuatro tipos comunes de estructuras cristalinas: la estructura cúbica centrada, la estructura cúbica centrada en las caras, la estructura hexagonal compacta y la estructura tipo diamante.

La *estructura cúbica centrada* tiene un átomo colocado en cada una de las esquinas de un cubo, y otro en el centro. El número total de átomos de esta estructura es, por lo tanto, nueve. El hierro es un metal cuyos átomos se disponen según este esquema. La *estructura cúbica de caras centradas* posee también ocho átomos en las esquinas, pero en vez de uno en el centro, tiene uno en el medio de cada cara del cubo, totalizando así un número de catorce. Los átomos del cobre y de muchos otros metales siguen este esquema. Imaginemos unas capas de bolas sobre un tablero de damas chinas, amontonadas unas encima de otras, de modo que cada capa no esté directamente encima de la otra, sino que las bolas de la capa superior rellenen los agujeros de la inferior. Esta disposición se denomina *estructura hexagonal compacta* y consta de planos superpuestos de átomos dispuestos hexagonalmente —los átomos están colocados uno en cada esquina más uno en el centro—. Los átomos del cinc están colocados según este esquema. El silicio y el germanio, dos minerales semiconductores de gran importancia, cristalizan según el cuarto esquema: la *estructura tipo diamante*. Esta última disposición consta de dos redes enlazadas, con los átomos en los centros de las caras.

La estructura cristalina puede ser *abierta* o *compacta*. Las estructuras hexagonal y cúbica de caras centradas son compactas, puesto que cada átomo está rodeado de otros doce. La estructura cúbica centrada es más abierta, ya que cada átomo está rodeado de ocho, mientras que en la estructura tipo diamante cada átomo está rodeado sólo de cuatro.

En los cristales formados por dos o más elementos distintos, las configuraciones a menudo se complican. Por ejemplo, los cristales de la sal común (cloruro de sodio) tienen el mismo número de átomos de sodio que de cloro. La estructura cristalina está formada por dos redes cúbicas de caras centradas entrelazadas: una formada por átomos de sodio y otra por átomos de cloro. En esta última, cada átomo de cloro está rodeado de seis átomos de sodio; en la primera, asimismo, cada átomo de sodio se encuentra entre seis átomos de cloro. Esta disposición depende de la naturaleza de los enlaces que unen los dos tipos de átomos. La configuración del cristal de cloruro de sodio es relativamente sencilla. Los minerales con enlaces más complicados forman cristales más complejos.

Impurezas Las configuraciones mencionadas anteriormente son solamente teóricas. En efecto, los cristales que se encuentran en la Naturaleza y los que se producen en el laboratorio raramente están libres de impurezas, que pueden ser de varios tipos. Entre ellas se incluyen tanto las impurezas por sustitución y las intersticiales, como las que están causadas por vacíos existentes en la red. Hay impurezas por sustitución cuando la posición de uno de los numerosos átomos del cristal está ocupada por un átomo de tipo diferente, es decir, por un átomo extraño. Sería como si un miembro de un grupo en marcha cogiera el sitio de otro en otro grupo. La impureza intersticial, en cambio, se da cuando un átomo extraño se introduce entre los demás pero sin que haya sustitución. Sería como si un componente de un grupo que marchara en formación entrara en otro grupo, pero sin ocupar el sitio de otro miembro de esta formación. La cantidad de átomos principales y de extraños de-



Algunas propiedades del sólido dependen de las propiedades de la red cristalina. En la página anterior, el grafito y su red hexagonal; sus planos pueden resbalar fácilmente unos sobre otros. Sobre estas líneas, baritina, un sulfato de bario; a la derecha, el diamante, con su estructura tetraédrica característica. Este tipo de estructura confiere gran dureza; además, el enlace entre los átomos de carbono hace que este cristal particular sea el más duro de todos. Arriba, a la derecha, el cloruro de sodio, con una red cúbica primitiva. Las celdillas de las redes de Bravais se pueden complicar por la colocación de moléculas o de grupos atómicos complejos en lugar de los átomos. Propiedades como la dureza de los cristales pueden depender tanto de la red como de sus imperfecciones. Por ejemplo, muchos metales tienen una red cúbica primitiva o centrada en el interior; a veces de caras centradas: con esta estructura deberían ser blandos; en cambio, impurezas intersticiales los hacen rígidos y duros.

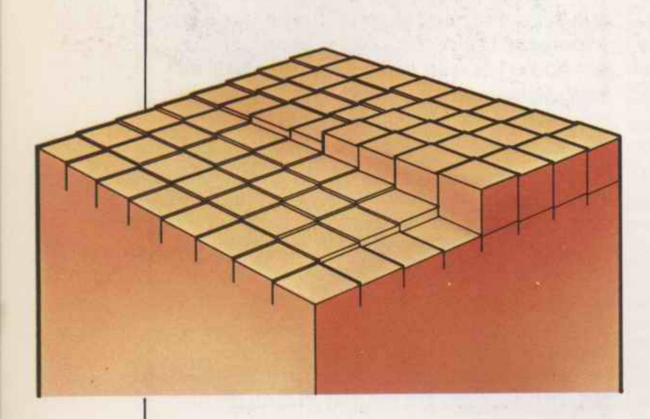
pende de cuánto espacio haya disponible para estos últimos. El tercer tipo de impureza se debe a la existencia de espacios vacíos en el interior de la estructura —es decir, la ausencia de átomos en las posiciones en las que deberían estar—. Se podría comparar a un grupo en marcha en el que faltan muchos miembros y cuyos sitios han quedado por lo tanto libres.

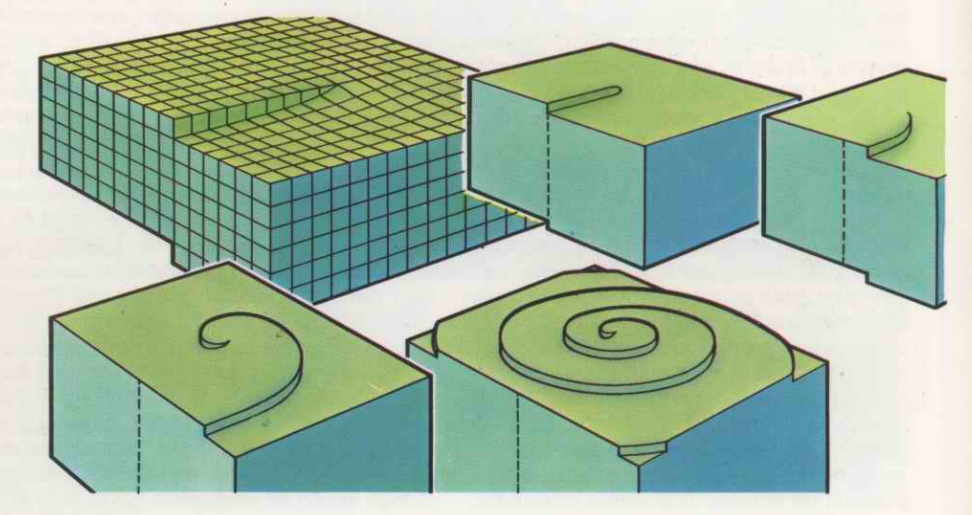
A veces estas impurezas son muy apreciadas. Por ejemplo, los rubíes son cristales impuros del mineral corindón (óxido de aluminio). El corindón puro es incoloro. El color rojo brillante del preciado rubí está causado por la sustitución ocasional de un átomo de aluminio por un átomo de cromo. Hoy en día es posible producir los rubíes sintéticamente, añadiendo unos átomos de cromo al óxido de aluminio para provocar algunas impurezas por sustitución (*dopado*).

También en la fabricación de aparatos electrónicos que necesitan materiales semiconductores se requiere el empleo de cristales impuros. Los semiconductores están formados por cristales de germanio y de silicio a los que se añaden impurezas por sustitución de galio, arsénico u otros elementos. Estos metales semiconductores se pueden producir de manera que tengan propiedades eléctricas, que se aprovechan en muchos y variados tipos de componentes electrónicos.

El dopaje irregular, en el que la distribución de los átomos principales y la de los extraños no es uniforme, no presenta ventaja alguna. Esta distribución irregular depende, en parte, de la existencia de corrientes de convección que se producen durante el enfriamiento del material cristalino, cuando se encuentra todavía en estado líquido y apenas han empezando a formarse cristales. Las corrientes de convección son movimientos en un líquido; su causa es la tendencia de los materiales más calientes y menos densos a subir hacia la superficie o a flotar, y de los materiales más fríos y más densos, a hundirse. Si la temperatura o la densidad de los átomos extraños añadidos son distintas de las de los átomos principales, las corrientes de convección resultantes pueden obstaculizar la formación de una mezcla uniforme.

Cristalización Por esa razón, recientemente se ha dedicado mucha atención a la cristalización, es decir, al proceso de formación de los cristales, para ver si es posible introducir mejoras en la uniformidad de los mismos. En el futuro es probable que se puedan producir cristales en el espacio extraatmosférico, en donde la falta de gravedad podría evitar la formación de las corrientes de convección. En el *Skylab* se han realizado ya experimentos sobre la cristalización en ausencia de gravedad.





Los metales con una estructura más uniforme serían así mucho más resistentes de lo que son actualmente. Esto significa no sólo que sería posible producir estructuras más resistentes con materiales más ligeros, sino también que los motores construidos con tales metales podrían funcionar a temperaturas más elevadas, con un rendimiento superior. Otros instrumentos que se basan en los cristales (entre los que están las células fotoeléctricas, los *chips* de los ordenadores, los transistores y algunos tipos de láser) podrían tener muchas más aplicaciones o desarrollar más potencia.

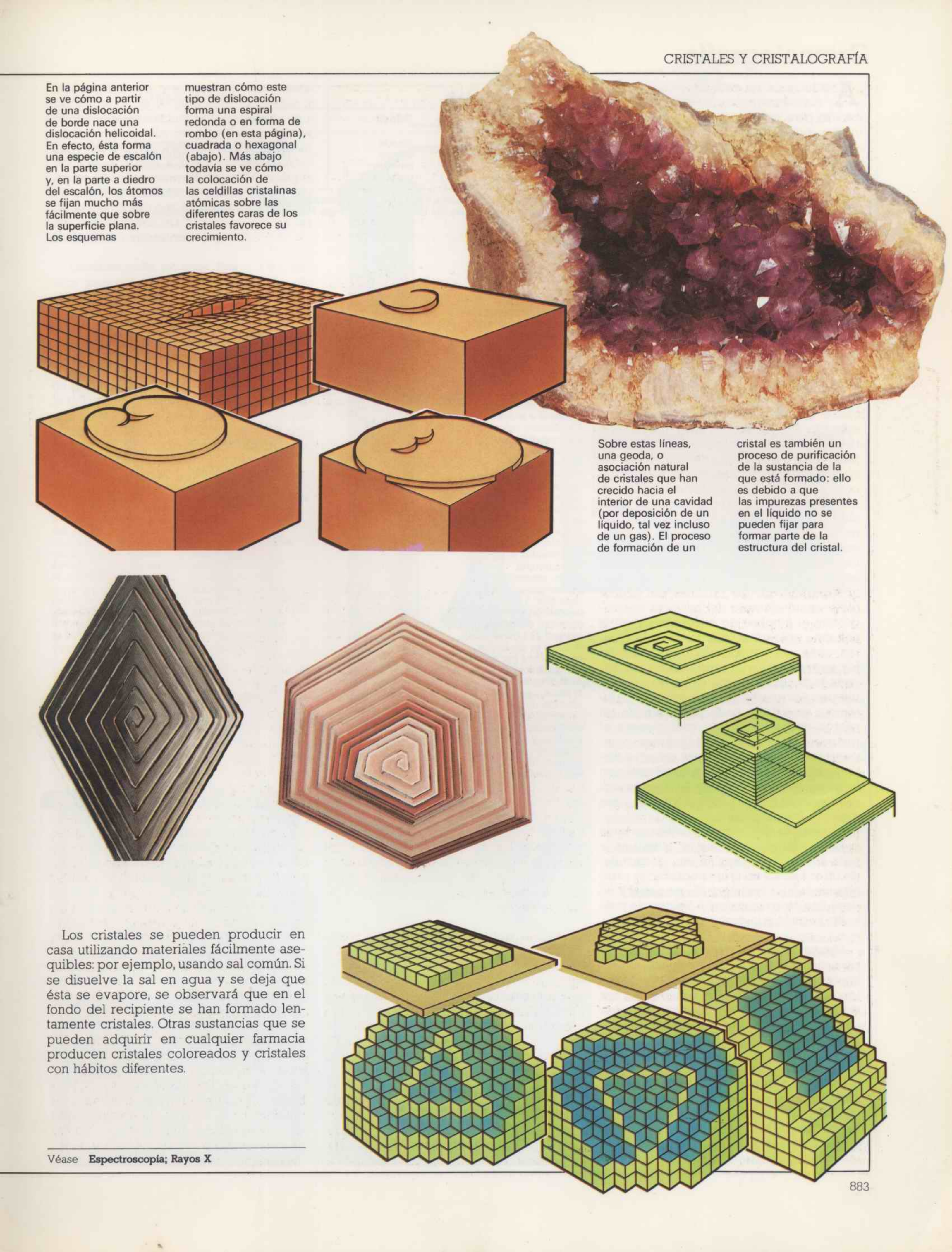
Cristalografía y crecimiento de cristales En 1611, el científico alemán Johannes Keppler publicó un libro en el que exponía su teoría según la cual los cristales de hielo estaban formados por una distribución regular de subunidades. Esta obra constituye uno de los primeros tratados de *Cristalografía*, el estudio de la forma, de la estructura y de las propiedades de los cristales.

Uno de los objetos de estudio de los cristalógrafos es la forma característica de los distintos tipos de cristales, conocida con el nombre de *hábito cristalino*. Al igual que la celdilla elemental, el hábito es una figura descrita por medio de una serie de caras, aristas, ángulos y bordes; a menudo, pero no siempre, refleja la estructura de la celdilla unidad. Otro factor que determina el hábito es el valor de crecimiento relativo de las caras durante la formación del cristal. Los cristalógrafos han descubierto que los ángulos entre caras correspondientes son siempre iguales para cada cristal de una misma sustancia, no importa de qué tamaño sea. La regularidad de los ángulos entre las caras se conoce con el nombre de *Primera Ley de la Cristalografía*. Los cristalógrafos utilizan un goniómetro para medir los ángulos entre las caras. El conocimiento de la medida exacta de los ángulos entre las caras facilita la identificación de un cristal.

Los rayos X constituyen otro de los métodos utilizados por los cristalógrafos para identificar los cristales. Si los rayos X se hacen incidir sobre una pequeñísima muestra cristalina, los átomos del cristal los dispersan en muchos rayos que se transmiten en direcciones distintas. Los diferentes ángulos de emisión de los rayos dispersados se registran en una película o por medio de un contador. Estos datos revelan la estructura atómica del cristal. Los cristalógrafos modernos utilizan ordenadores para tratar los datos sobre los rayos X y para confeccionar los posibles modelos de estructura cristalina.

Los cristalógrafos estudian también las condiciones que determinan el crecimiento de los cristales. En general, los cristales se producen disolviendo en un líquido la sustancia química de la que están compuestos, llamada *nutriente*. A continuación la sustancia precipita o se solidifica: en esta fase tiene lugar la cristalización. Pero los cristales se pueden producir también cuando la sustancia de la que están compuestos pasa directamente del estado gaseoso al sólido (por ejemplo, cuando el vapor de agua cristaliza en un día frío para formar copos de nieve). En determinadas condiciones, si algunas sustancias sólidas están sometidas a tensiones, los átomos que las componen pueden reagruparse nuevamente como cristales.

En la página anterior se ve cómo a partir de una dislocación de borde nace una dislocación helicoidal. En efecto, ésta forma una especie de escalón en la parte superior y, en la parte a diedro del escalón, los átomos se fijan mucho más fácilmente que sobre la superficie plana. Los esquemas muestran cómo este tipo de dislocación forma una espiral redonda o en forma de rombo (en esta página), cuadrada o hexagonal (abajo). Más abajo todavía se ve cómo la colocación de las celdillas cristalinas atómicas sobre las diferentes caras de los cristales favorece su crecimiento.



Sobre estas líneas, una geoda, o asociación natural de cristales que han crecido hacia el interior de una cavidad (por deposición de un líquido, tal vez incluso de un gas). El proceso de formación de un cristal es también un proceso de purificación de la sustancia de la que está formado: ello es debido a que las impurezas presentes en el líquido no se pueden fijar para formar parte de la estructura del cristal.

Los cristales se pueden producir en casa utilizando materiales fácilmente asequibles: por ejemplo, usando sal común. Si se disuelve la sal en agua y se deja que ésta se evapore, se observará que en el fondo del recipiente se han formado lentamente cristales. Otras sustancias que se pueden adquirir en cualquier farmacia producen cristales coloreados y cristales con hábitos diferentes.

Véase **Espectroscopía; Rayos X**

Cromatografía

A principios de este siglo un botánico ruso desarrolló una técnica de coloración para separar los compuestos químicos, que es lo que hoy día se denomina *cromatografía*. Este es actualmente uno de los métodos más difundidos para separar e identificar los compuestos químicos. Las sustancias de origen biológico tales como los pigmentos, los aminoácidos, los azúcares, las sustancias químicas aromáticas, las grasas y otras sustancias relacionadas con los sistemas vivos —por ejemplo, las sustancias contaminantes y los insecticidas— pueden aislarse utilizando la cromatografía. Aunque hoy día esta técnica se utiliza para muchos fines, el principal intento de su descubridor, Michele Tswett, era el de separar los pigmentos contenidos en las hojas de las plantas de la materia que los rodea.

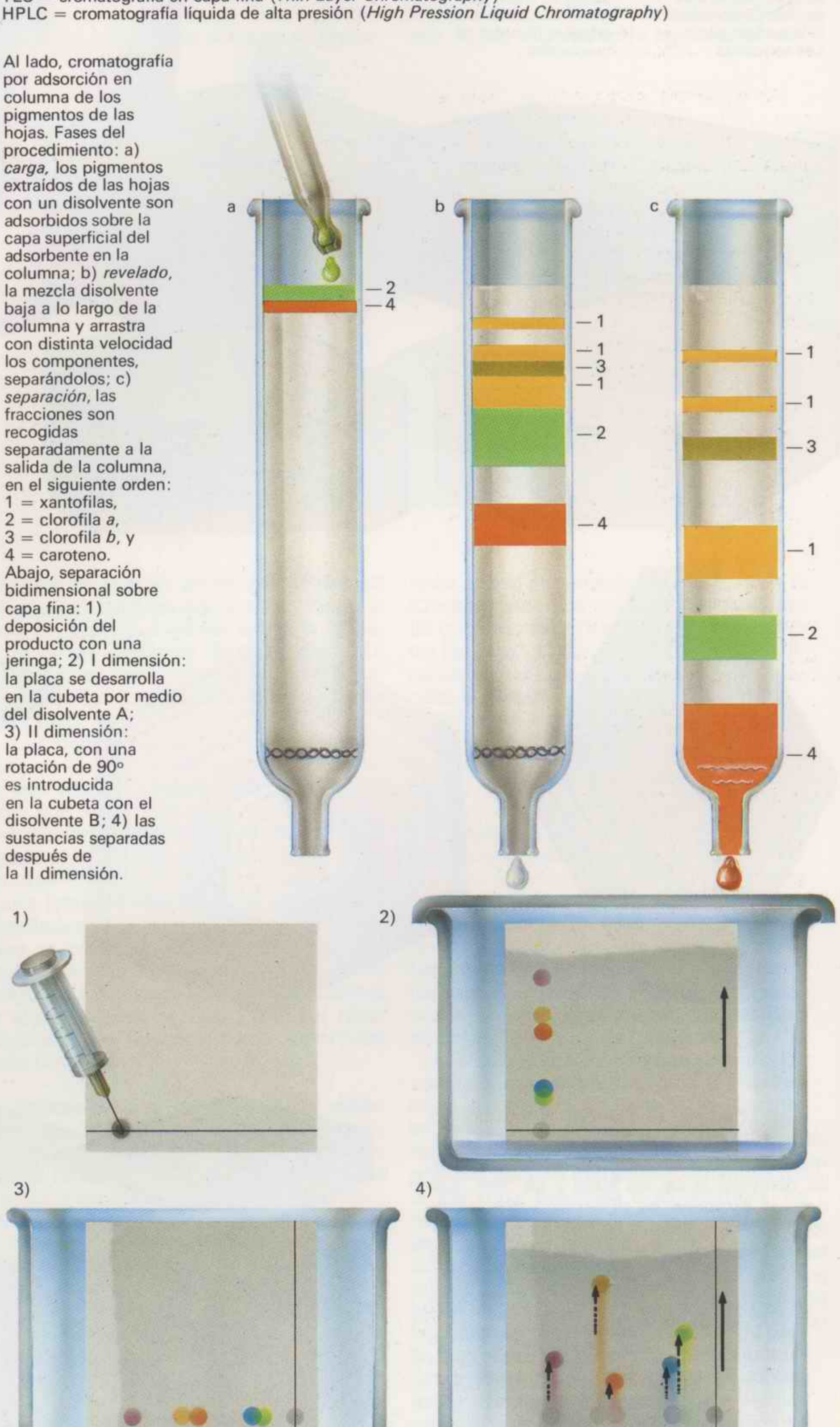
Para ello preparó una mezcla de pigmentos de las hojas disueltas en un disolvente (el disolvente es un líquido, por ejemplo, agua o alcohol, en el que pueden disolverse otras sustancias químicas; después de la evaporación del disolvente, las sustancias químicas no varían respecto a como eran antes de ser disueltas). Vertió, a continuación, esta solución en la parte superior de un estrecho tubo de vidrio lleno de azúcar en polvo. Cuando el disolvente se desplazaba a través del azúcar, los pigmentos que transportaba tendían a adherirse con distintas velocidades sobre la superficie de los cristales del azúcar (éste es un ejemplo del proceso conocido con el nombre de *adsorción*) y en la columna aparecían unas bandas de colores, cada una correspondiendo a uno de los pigmentos de la mezcla. Una vez secada la columna, podía dividirse en segmentos por medio de una espátula y, lavando, se extraía cada pigmento de un sector, completando de esta manera el proceso de separación. Distintos compuestos de pigmentos daban origen a distintas bandas de colores estratificadas en la columna. El proceso se llama *cromatografía*, de la palabra griega *chroma*, que significa "color".

El método de Tswett se utiliza todavía (para separar compuestos químicos y para analizarlos), pero se han desarrollado otras formas de cromatografía: las principales son la cromatografía en papel y en capa fina, la cromatografía líquida de baja y alta presión y la cromatografía de gases.

Cromatografía en papel Durante este proceso la mezcla química a analizar se disuelve en un disolvente y después se coloca una gota de la misma sobre una tira de papel de filtro. Una vez seca, se cuelga la tira de papel en el interior de una cámara cerrada, que contiene disolvente en el fondo. El extremo inferior de la tira de papel se sumerge en el disolvente y cuando éste se desplaza hacia arriba sobre el papel (por efecto de la acción capilar) las distintas sustancias químicas, a causa de su composición, se desplazan con velocidades distintas. A menudo las sustancias químicas separadas sobre el papel son in-

FASE		CROMATOGRAFIA	
Estacionaria	**Móvil**	**Tipo**	**Técnica**
sólida	líquida	adsorción	columna TLC, HPLC
líquida	líquida	de partición	columna, papel, TLC, HPLC
sólida	gaseosa	adsorción	cromatografía de gases
líquida	gaseosa	de partición	cromatografía de gases

TLC = cromatografía en capa fina (*Thin Layer Chromatography*)
HPLC = cromatografía líquida de alta presión (*High Pression Liquid Chromatography*)



Al lado, cromatografía por adsorción en columna de los pigmentos de las hojas. Fases del procedimiento: a) *carga*, los pigmentos extraídos de las hojas con un disolvente son adsorbidos sobre la capa superficial del adsorbente en la columna; b) *revelado*, la mezcla disolvente baja a lo largo de la columna y arrastra con distinta velocidad los componentes, separándolos; c) *separación*, las fracciones son recogidas separadamente a la salida de la columna, en el siguiente orden: 1 = xantofilas, 2 = clorofila *a*, 3 = clorofila *b*, y 4 = caroteno. Abajo, separación bidimensional sobre capa fina: 1) deposición del producto con una jeringa; 2) I dimensión: la placa se desarrolla en la cubeta por medio del disolvente A; 3) II dimensión: la placa, con una rotación de 90° es introducida en la cubeta con el disolvente B; 4) las sustancias separadas después de la II dimensión.

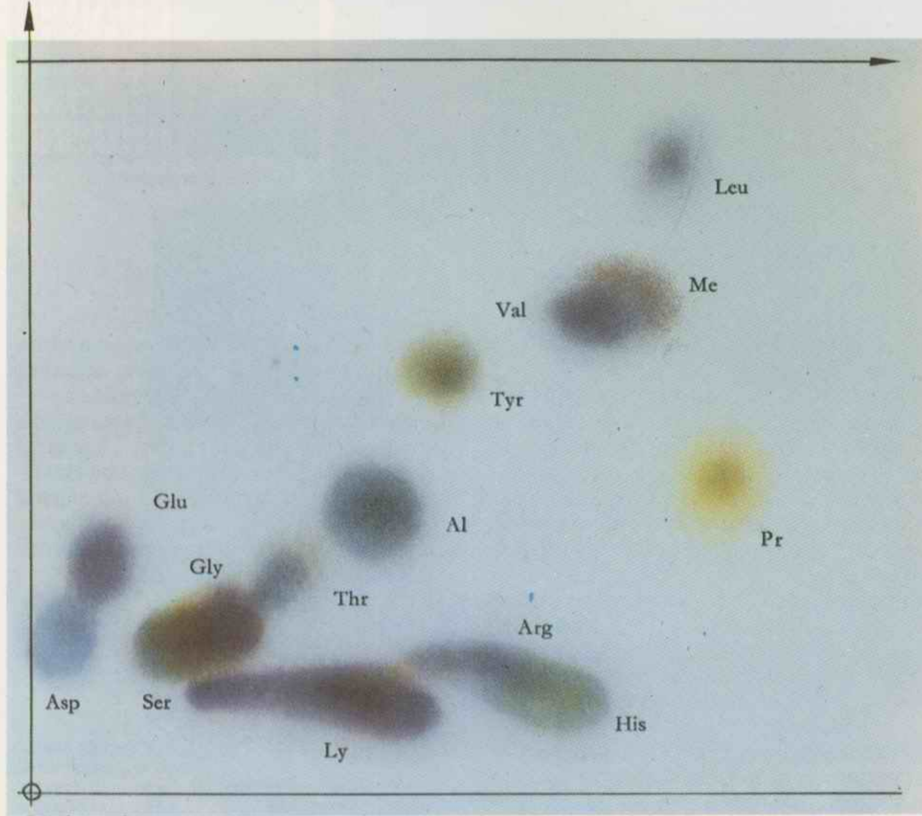
coloras, así que, una vez retirado y secado el papel, se le trata (por inmersión o chorreo) con sustancias específicas que hacen visibles los compuestos químicos. Este segundo proceso se llama *revelado*, porque es similar al revelado de una fotografía. Gracias a la cromatografía en papel es posible identificar varias sustancias químicas, como por ejemplo los azúcares, los aminoácidos, las grasas e incluso las sustancias radiactivas.

Cromatografía en capa fina Esta técnica permite efectuar cromatografías de adsorción sobre una superficie plana. El material adsorbente (por ejemplo, gel de sílice) se suspende en agua u otro disolvente y se extiende sobre un vidrio plano. Después del secado se obtiene una capa fina de adsorbente sobre la cual, cerca de un extremo, se deposita una gota de la mezcla a separar. Este extremo de la lámina se sumerge en el disolvente depositado en el fondo de una caja de vidrio cerrada. El disolvente asciende a lo largo de la lámina por capilaridad, arrastrando hacia arriba los componentes de la mezcla a distinta velocidad, y de esta manera quedan separados. Se disponen uno por encima del otro, apareciendo como manchas de distintos colores y dimensiones después de haber sido tratadas (si es necesario) con el reactivo de revelado, de la misma manera que en la cromatografía en papel. La ventaja en relación con esta última es el menor tiempo de separación y la mayor sensibilidad, que permite reconocer cantidades incluso muy pequeñas de sustancias químicas.



A la derecha, esquema de cromatografía líquida de alta presión. La mezcla de sustancias a analizar, introducida con una jeringa en el inyector (3), es empujada, por acción de una bomba (2) en la columna cromatográfica (4) juntamente con el disolvente (1). En la columna, la mezcla se fracciona en sus componentes, que son detectados a la salida por el aparato (5) y registrados como picos en el papel del registrador (6). Abajo, cromatografía bidimensional sobre papel de los aminoácidos que constituyen una sustancia proteica. Los aminoácidos se identifican por su posición sobre el cromatograma y por su color.

Leu = leucina; Me = metionina; Val = valina; Tyr = tirosina; Glu = ácido glutámico; Al = alanina; Gly = glicina; Thr = treonina; Pr = prolina; Arg = argonina; Asp = ácido aspártico; Ser = serina; Ly = lisina; His = histidina.



Cromatografía líquida La cromatografía líquida en columna es una consecuencia perfeccionada de la ideada por Tswett adaptada a la separación de sustancias incoloras, que requieren medios físicos o químicos para ser reconocidas. A la salida de la columna se coloca un instrumento, llamado *revelador*, conectado a un aparato de registro gráfico, que permite identificar los compuestos que son separados. Este método es muy preciso y se emplea sobre todo para la separación de sustancias proteicas, como los enzimas, pero requiere más tiempo.

Véase **Cromatografía de gases**

Cromatografía de gases

Imaginemos una carrera con 30 participantes de los que 10 son caballos, 10 son hombres y 10 son tortugas. Al inicio de la carrera todos los participantes estarán alineados en la salida, pero al llegar a la meta se habrán separado claramente en tres grupos: primero los caballos, que son mucho más veloces, después los hombres y, en último lugar, las tortugas. Aunque hubiera en la carrera miles de participantes de muchas especies, la mayor parte de ellos alcanzaría la meta en el grupo de los que pertenecen a su especie. Si no hubiera otra manera, una forma de separar las distintas especies en sus grupos correspondientes sería el hacerlas participar en una carrera como la descrita. La clasificación se produce porque cada especie se mueve, de acuerdo con su constitución, con una velocidad característica que, al transcurrir el tiempo, separa unas de otras.

La cromatografía es un método de análisis químico que se basa en un principio análogo al descrito anteriormente para separar los distintos componentes de una mezcla de sustancias químicas. Al final del proceso, las moléculas se encuentran en grupos, dentro de los cuales todas tienen ciertas características. El recorrido que se utiliza para separar los componentes de la mezcla es un material adsorbente que retiene las moléculas de las sustancias según su peso y volumen. Un determinado material adsorbente no retiene con la misma facilidad todas las moléculas y algunas pasan sobre su superficie más rápidamente que otras. De esta manera, si se pone en contacto la mezcla que contiene los distintos tipos de moléculas con un extremo de la tira de material adsorbente, las distintas moléculas llegarán al otro extremo separadas en grupos, de una forma parecida a la carrera hipotética imaginada antes. Este procedimiento se emplea por tanto para separar los componentes de una mezcla de sustancias químicas.

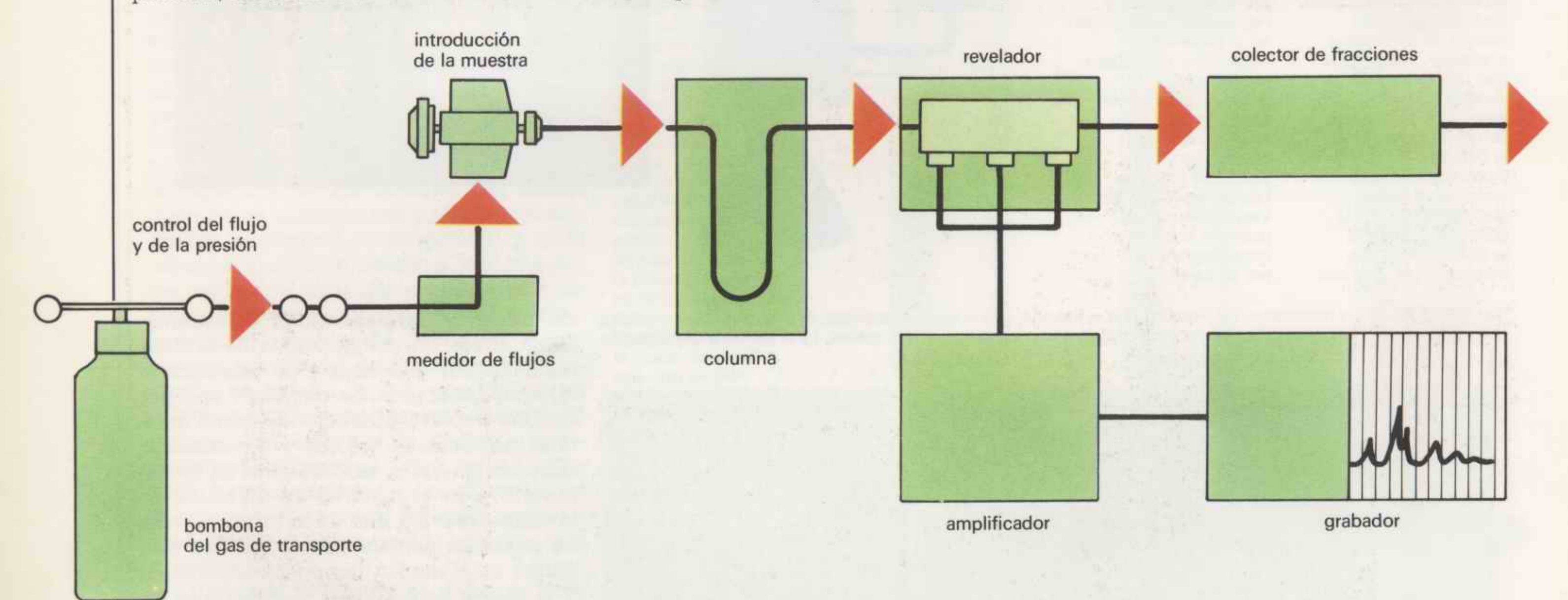
Proceso cromatográfico La cromatografía utiliza dos medios, llamados "fases": uno de ellos en movimiento (fase móvil), y el otro, quieto (fase estacionaria). La mezcla que se intenta analizar se introduce en la fase móvil, que puede ser un líquido o un gas. Una vez que la mezcla está disuelta en la fase móvil, se la hace pasar a través de la fase estacionaria, que puede ser sólida o líquida y que está formada por una sustancia adsorbente. Cuando los componentes de la mezcla original llegan al otro extremo de la fase estacionaria, están separados, aunque algunas veces es necesario repetir el procedimiento para obtener una separación perfecta.

La cromatografía de gases es uno de los tipos más utilizados en la cromatografía moderna y en ella la fase móvil está formada por un gas, llamado *gas de transporte*. Las muestras que se van a someter a análisis se calientan hasta su evaporación, momento en el que se inyectan en el gas de transporte (que generalmente es helio, aunque puede ser hidrógeno, nitrógeno o argón) justo antes de que entre en una columna que contiene películas de un líquido (por ejemplo, silicona) que forma la fase estacionaria.

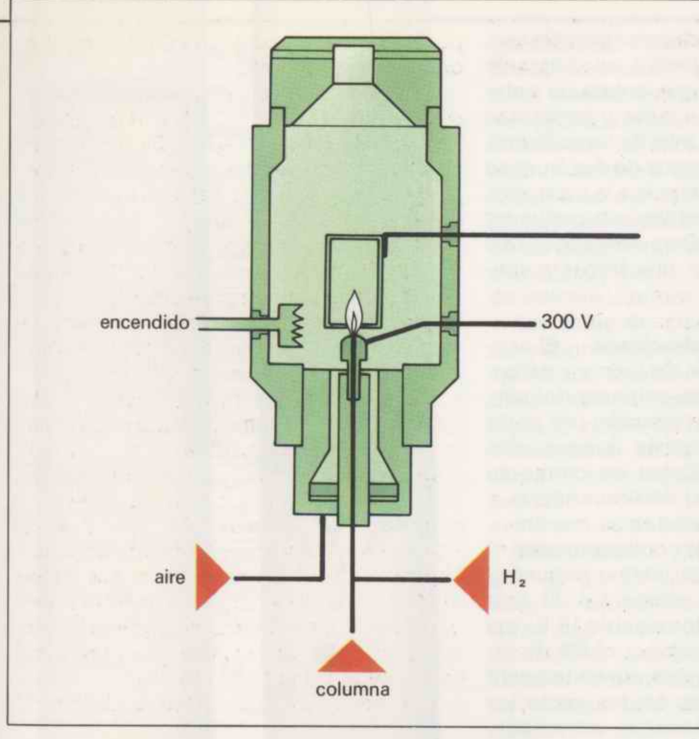
La fase estacionaria adsorbe y devuelve varias veces los componentes de la mezcla a medida que éstos van bajando por la columna. Las sustancias separadas llegan una detrás de otra a la salida de la columna arrastradas por el gas de transporte y se introducen en un revelador. Aquí se detectan los componentes y en función de ellos se mandan señales eléctricas a un aparato de grabación que las representa en un gráfico en el que los componentes aparecen como picos separados. El gráfico, llamado *cromatograma*, nos permite reconocer, por la posición de los picos y por su área, los componentes químicos de la mezcla y valorar su concentración, de forma que se pueda proporcionar un "cuadro químico" completo de la mezcla original.

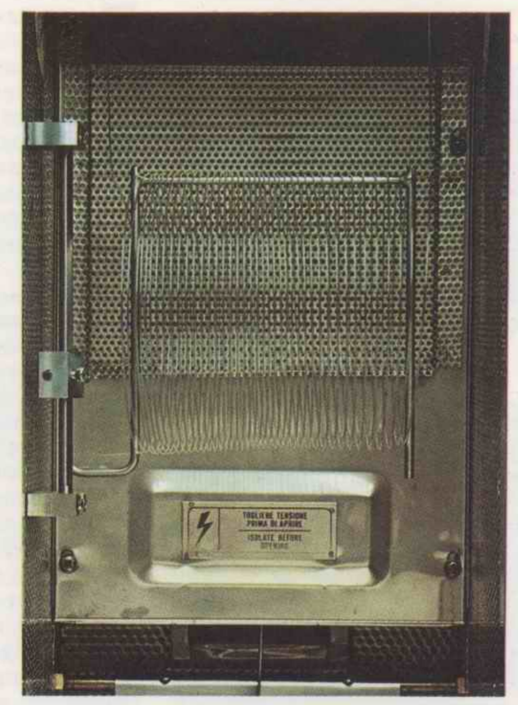
La cromatografía de gases es un método muy preciso, rápido y sensible de análisis químico y se puede utilizar también para muestras muy pequeñas. Como ejemplo se puede decir que este método se ha empleado para indentificar, en un único análisis, los 350 componentes distintos del aroma de un café. La cromatografía de gases se utiliza también para analizar las sustancias contaminantes de la atmósfera, la cantidad de alcohol en la sangre y la composición de vitaminas, clorofilas y enzimas. Es más rápida que la cromatografía líquida, que utiliza como fase móvil una sustancia líquida, y en relación a ésta hay que tener en cuenta dos factores: el punto de ebullición de las sustancias y su mayor o menor afinidad con la fase estacionaria. Una buena elección de las condiciones de realización, en función de estos dos factores (longitud de la columna, material que la rellena, temperatura, etc.), permite una separación de compuestos que no se puede conseguir con otras técnicas.

La cromatografía de gases es ideal para analizar líquidos volátiles, pero se adapta peor a otras aplicaciones, como aquéllas en las que aparecen sustancias sólidas disueltas. Cuando se tienen sustancias que pasan a estado de vapor sólo a altas temperaturas, es necesario realizar una determinada reacción química que transforma los productos bajo examen en otros volátiles. En tales casos puede ser más práctica la cromatografía de presión.



Véase **Cromatografía**



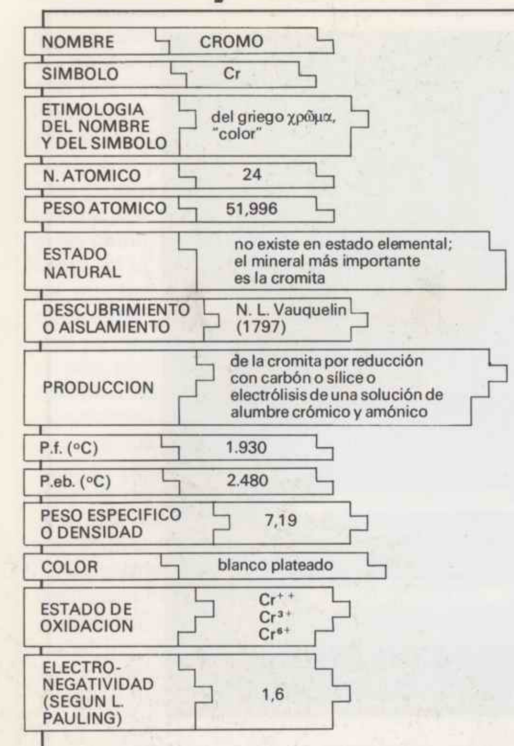


En la página anterior, esquema del funcionamiento de un cromatógrafo de gases. A la derecha de estas líneas, uno de los modelos más conocidos de cromatógrafo de gases de alta resolución. Está formado por un sistema de inyección que introduce la muestra en la cámara inferior (foto superior derecha), por un circuito de regulación y control del gas de transporte y por un revelador que puede ser de varios tipos. El dibujo de la parte superior izquierda ↓

↓ de esta página ilustra de forma esquemática un revelador por ionización de llama.

Farmitalia-Carlo Erba

Cromo y molibdeno



NOMBRE	CROMO
SIMBOLO	Cr
ETIMOLOGIA DEL NOMBRE Y DEL SIMBOLO	del griego χρῶμα, "color"
N. ATOMICO	24
PESO ATOMICO	51,996
ESTADO NATURAL	no existe en estado elemental; el mineral más importante es la cromita
DESCUBRIMIENTO O AISLAMIENTO	N. L. Vauquelin (1797)
PRODUCCION	de la cromita por reducción con carbón o sílice o electrólisis de una solución de alumbre crómico y amónico
P.f. (°C)	1.930
P.eb. (°C)	2.480
PESO ESPECIFICO O DENSIDAD	7,19
COLOR	blanco plateado
ESTADO DE OXIDACION	Cr^{++} Cr^{3+} Cr^{6+}
ELECTRO-NEGATIVIDAD (SEGUN L. PAULING)	1,6

El cromo es valioso por muchas de sus propiedades, principalmente por ser muy duro e inoxidable. El cromo conserva estas propiedades también cuando forma parte de una aleación, que a su vez las adquiere, aunque en grado distinto en función de los otros componentes. Abajo, fotografía de un baño electrolítico por medio del cual se cubre de cromo una sustancia oxidable para protegerla de la corrosión. Arriba, a la derecha, en esta página, una reacción que hace precipitar el cromato de plata (izquierda) y, al lado, un tubo de ensayo para el reconocimiento de los cromatos. Debajo, bonito cristal de alumbre de cromo, sal utilizada en la técnica del curtido de pieles. Abajo, un mineral de cromo —crocolita— sobre roca madre y en cristales aislados.

El cromo y el molibdeno constituyen, junto con el wolframio, un grupo de elementos metálicos que tienen un comportamiento químico similar y presentan propiedades de gran interés tecnológico, como son: altísimos puntos de fusión, gran dureza y notable resistencia a la corrosión. Su unión con otros metales, en particular el acero, permite obtener aleaciones con elevadas prestaciones mecánicas y quimicofísicas.

Aleaciones y superaleaciones El acero, que es una aleación de hierro y carbono, está sujeto al ataque oxidante del aire, a la herrumbre y a la corrosión por parte de los ácidos. Al añadirle aunque sólo sean pequeñas cantidades de cromo se reduce su tendencia al deterioramiento y además aumenta su resistencia mecánica. Los aceros inoxidables contienen entre el 14% y el 26% de cromo, junto a pequeños porcentajes de otros elementos. El más conocido es el acero inoxidable 18-8, que contiene el 18% de cromo y el 8% de níquel. Debido a que es casi absolutamente inatacable por parte de ácidos, como los contenidos en los alimentos, es ampliamente utilizado para cubiertos y utensilios de cocina. Los aceros al molibdeno, que pueden contener 2% o más del mismo, adquieren notable resistencia al desgaste y a temperaturas altas y son utilizados para utensilios de alta velocidad de corte; debido a su dureza son empleados también para blindajes. El cromo y el molibdeno son componentes comunes de las llamadas *superaleaciones*, capaces de conservar elevadas características mecánicas incluso a 800-850 °C de temperatura.

Estas aleaciones, de composición compleja, contienen también níquel, cobalto, wolframio, aluminio y titanio, y son particularmente utilizadas para la fabricación





En la página siguiente, dos minerales del molibdeno —wulfenita y molibdenita— y el rotor de una turbina a gas con álabes en aleación de molibdeno que le da resistencia a las altas temperaturas.



NOMBRE	MOLIBDENO
SIMBOLO	Mo
ETIMOLOGIA DEL NOMBRE Y DEL SIMBOLO	del griego μόλυβδος, plomo
N. ATOMICO	42
PESO ATOMICO	95,94
ESTADO NATURAL	en los minerales powelita, molibdenita y wulfenita
DESCUBRIMIENTO O AISLAMIENTO	C. W. Scheele (1778)
PRODUCCION	tostación de la molibdenita y posterior reducción con hidrógeno
P.f. (°C)	2.610
P.eb. (°C)	5.560
PESO ESPECIFICO O DENSIDAD	10,22
COLOR	blanco plateado
ESTADO DE OXIDACIÓN	Mo^{3+} Mo^{4+} Mo^{5+} Mo^{6+}
ELECTRO-NEGATIVIDAD (SEGUN L. PAULING)	1,8

de álabes para turbinas de gas, en los motores a reacción para aviones y para ciertas partes de los misiles.

Cromo El cromo fue descubierto en 1797 por el químico francés N.L. Vauquelin. Su nombre, que deriva de una palabra griega que significa "color", se le atribuyó por los tintes brillantes que caracterizan a sus compuestos y soluciones y que comprenden casi todos los colores del espectro. El típico color verde de la esmeralda y el rojo del rubí son debidos a la presencia de rastros de óxido de cromo en dichas gemas.

Esta propiedad del cromo se aprovecha utilizando muchos de sus compuestos como pigmentos, entre los cuales figura el amarillo cromo (cromato de plomo) y el rojo cromo (cromato básico de plomo).

El cromo metálico utilizado para la preparación de aleaciones se obtiene tratando su principal mineral, la cromita (un óxido de hierro y cromo), con carbón y sílice en un horno eléctrico: se produce así una aleación entre el cromo y el hierro (40-80% de cromo) llamada *ferrocromo*, que se añade directamente al acero para la fabricación, por ejemplo, del acero inoxidable y de otros aceros especiales.

Cuando se desea preparar cromo puro se recurre al procedimiento de *aluminotermia*. Consiste en reducir el óxido crómico con aluminio en polvo a alta temperatura. La reacción se inicia introduciendo una cinta de magnesio ardiendo en la mezcla del óxido de cromo y aluminio.

También se puede obtener cromo puro por electrólisis del alumbre de cromo y amonio.

Otra aplicación muy importante del cromo es el *cromado*, que es un tratamiento galvánico (basado en el principio de la electrólisis) por medio del cual se deposita una sutil capa de cromo metálico sobre objetos metálicos e incluso sobre material plástico para protegerlos o decorarlos (galvanoplástica). Los objetos recubiertos de esa forma por la sutil capa de cromo metálico adquieren una elevada resistencia a la corrosión y a la acción de los agentes atmosféricos (como en el caso de los parachoques de los automóviles, de utensilios y partes mecánicas, de objetos de menaje doméstico).

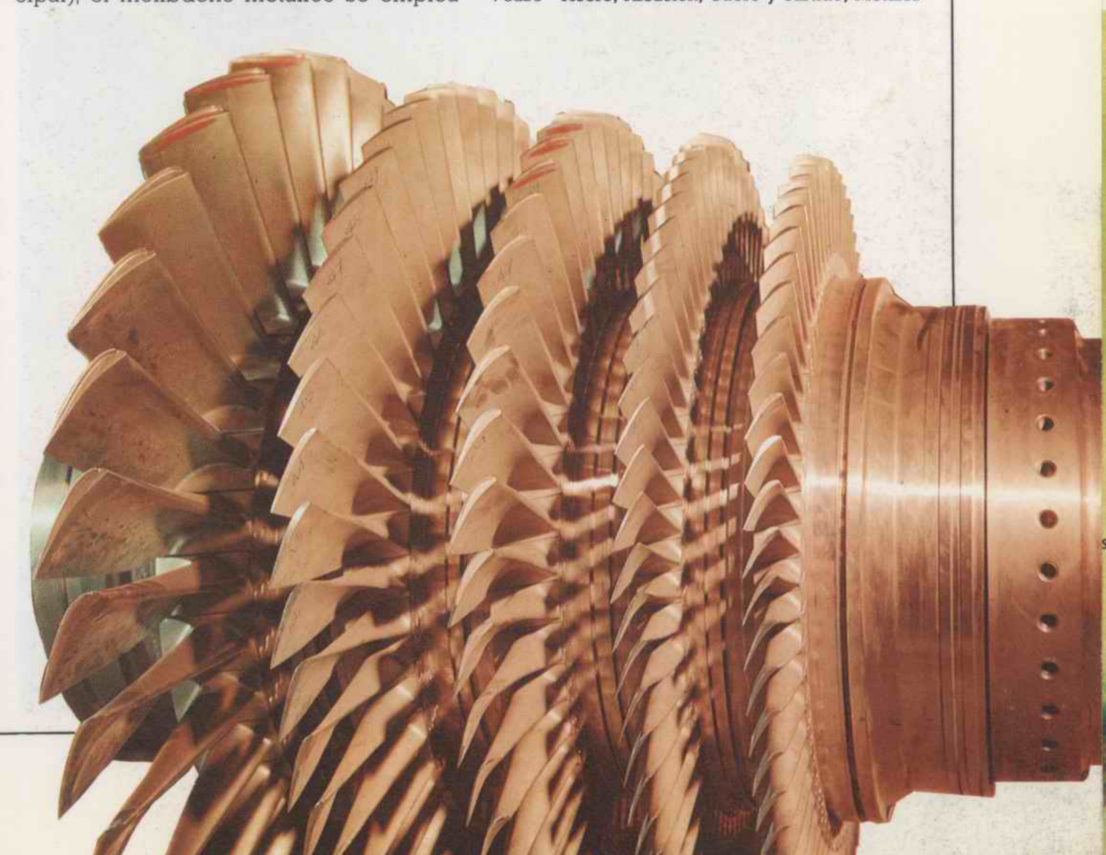
Las sales de cromo (cromato de potasio y dicromato de potasio) tienen amplia aplicación también en el curtido de las pieles para su transformación en cuero. Un aspecto negativo de los compuestos de cromo es el de su toxicidad, que representa un factor de riesgo en algunas profesiones.



Molibdeno El término *molibdeno*, que en griego antiguo significa "plomo", nace de un equívoco: el haber confundido el más extendido de los minerales del molibdeno, la molibdenita (sulfuro de molibdeno), con el plomo, al que se le parece mucho. Descubierto por el químico sueco C. W. Scheele en el año 1778, el molibdeno, debido también a la dificultad que presenta su obtención como metal, permaneció como simple curiosidad de laboratorio hasta los años de la I Guerra Mundial, cuando se empezó a constatar que añadiendo pequeñas cantidades de molibdeno al acero se obtenían aleaciones con excepcional dureza y resistencia térmica y química. El molibdeno se obtiene, con oportunos tratamientos, a partir de la molibdenita, como polvo metálico que se elabora por *sinterización*, es decir, se comprime en moldes apropiados y se calienta para unir entre sí las partículas.

Además de utilizarse como componente de aleaciones con el acero (su uso principal), el molibdeno metálico se emplea en la fabricación de piezas de aparatos sometidos a altas temperaturas, de soportes de hornos eléctricos, de resistencias y anticátodos de tubos de rayos X, etc. El molibdeno tiene también importancia biológica, siendo, en pequeñísimas cantidades, un elemento esencial para el crecimiento de muchas variedades de plantas.

Véase **Acero; Aleación; Cuero y curtido; Metales**



Cromosoma

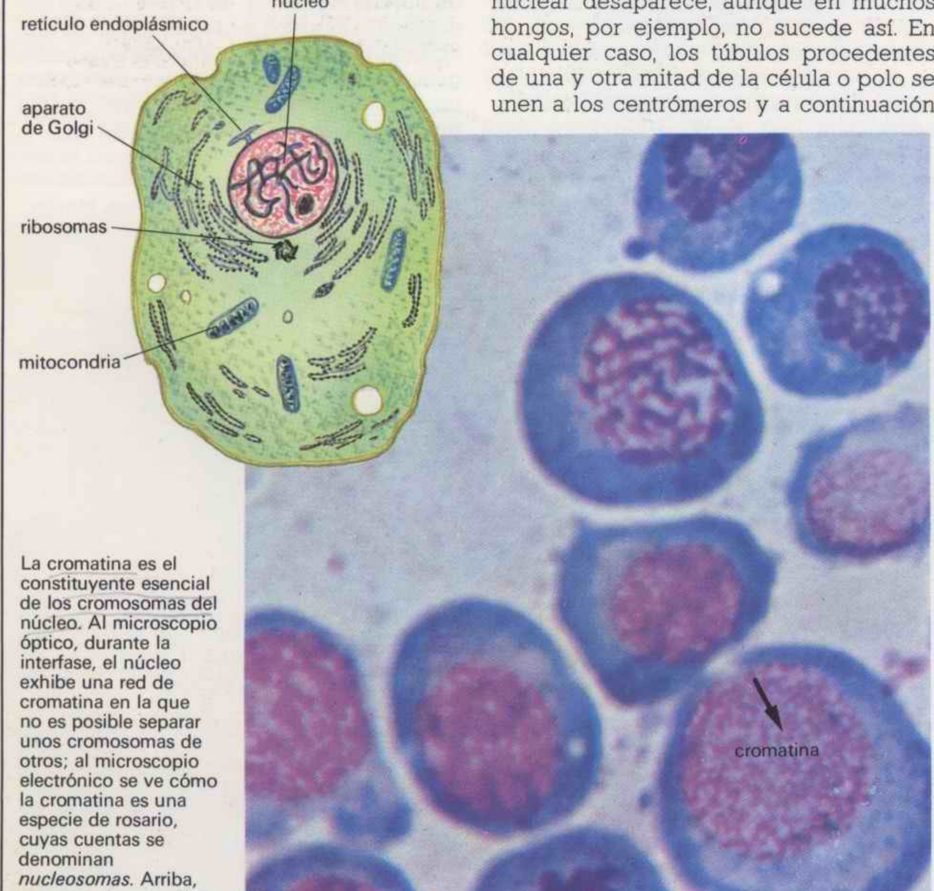
Hacia finales del siglo XIX se demostró que el núcleo de las células contiene en su interior unos filamentos que durante la división celular se escinden en dos. En el año 1888, el biólogo alemán Wilhelm von Waldeyer-Hartz dio a estos filamentos el nombre de *cromosomas* (etimológicamente, "cuerpos coloreados") por su propiedad de absorber ciertos colorantes.

La estructura molecular de los cromosomas es compleja. La sustancia fundamental que compone el cromosoma se llama *cromatina* y consta de *ácido desoxirribonucleico* (ADN) y ciertas proteínas llamadas *histonas*; en los cromosomas también hay *ácido ribonucleico* (ARN) y una gran diversidad de proteínas no histónicas. De estos constituyentes, el ADN es con mucho el de función más importante: porta la información genética de la célula. El número de moléculas de ADN que contiene cada cromosoma ha sido objeto de gran discusión; actualmente tiende a admitirse que un cromosoma sin replicar contiene una única molécula larguísima de ADN.

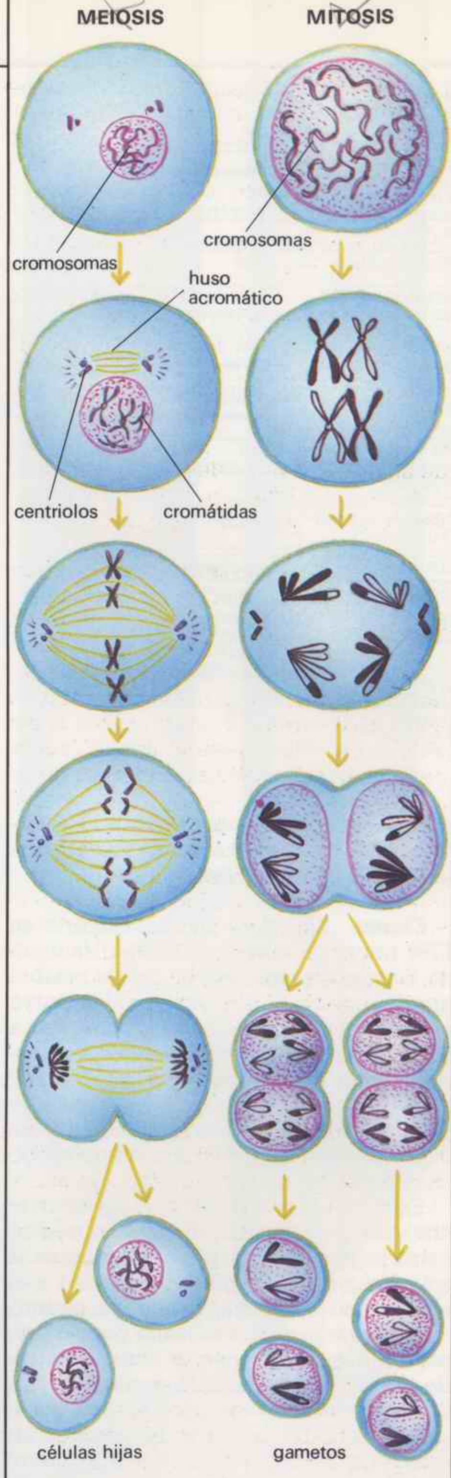
Ciclo cromosómico En el período comprendido entre dos divisiones celulares, la cromatina de los cromosomas se encuentra muy relajada, formando el conjunto de cromosomas del núcleo como una maraña en la que no resulta posible distinguir los filamentos de uno u otro cromosoma; no obstante, cada cromosoma retiene su individualidad e integridad. Los primeros citólogos denominaron a esta etapa del ciclo celular como *fase de reposo*; los avances de la Biología molecular han hecho comprender que el reposo es sólo aparente, pues, de hecho, es en esta etapa cuando se replica el cromosoma y los genes dirigen la síntesis de las proteínas celulares.

Al inicio de la fase de reposo, o interfase, cada cromosoma consta de un único filamento o *cromátida*; al final de la interfase los cromosomas se han replicado, constando en ese momento cada uno de ellos de dos cromátidas, unidas por una estructura especial llamada *centrómero*. Cada cromosoma lleva el centrómero en una posición determinada y constante; si el centrómero se sitúa hacia la zona media de la cromátida, el cromosoma replicado tendrá forma de aspa o X; si el centrómero se encuentra en un extremo, tendrá forma de V.

Cuando la célula inicia su división, la cromatina de cada cromosoma va contrayéndose progresivamente, lo que permite distinguir cada uno de los demás. En cada una de las mitades de la célula se forma un conjunto de túbulos, formados de proteína, que no tiene avidez por los colorantes que tiñen los cromosomas y de ahí su nombre de *aparato acromático*; en las células animales dicho aparato tiene forma de huso por converger los extremos distales de los túbulos en cada mitad de la célula. Frecuentemente, la membrana nuclear desaparece, aunque en muchos hongos, por ejemplo, no sucede así. En cualquier caso, los túbulos procedentes de una y otra mitad de la célula o polo se unen a los centrómeros y a continuación



La cromatina es el constituyente esencial de los cromosomas del núcleo. Al microscopio óptico, durante la interfase, el núcleo exhibe una red de cromatina en la que no es posible separar unos cromosomas de otros; al microscopio electrónico se ve cómo la cromatina es una especie de rosario, cuyas cuentas se denominan *nucleosomas*. Arriba, esquema de una célula con sus constituyentes.



Los núcleos de las células pueden dividirse por dos mecanismos distintos, llamados *mitosis* y *meiosis*. La mitosis puede tener lugar tanto en células diploides como haploides; en la mitosis, los cromosomas se replican y luego se reparten entre los dos nuevos núcleos, de modo que cada uno de ellos contendrá un juego cromosómico idéntico al otro, y ambos idénticos al del núcleo original. La *meiosis* ocurre únicamente en células diploides, concretamente durante la formación de las células sexuales; en la meiosis, los cromosomas se replican una vez, pero el núcleo se divide dos veces consecutivas, de modo que el resultado son cuatro núcleos, conteniendo cada uno un juego haploide de cromosomas. La meiosis representa la transición de la fase diploide a la haploide del ciclo de vida de los organismos con reproducción sexual, así como la fecundación representa la transición de la etapa haploide a la diploide.

Estructura Molecular

las cromátidas de cada cromosoma se separan, viajando cada una, con su centrómero, a un polo distinto. Finalmente, en cada polo se forma una nueva membrana nuclear, en cuyo interior figura la dotación cromosómica respectiva. El proceso descrito, que recibe el nombre de *mitosis*, garantiza la presencia, en cada uno de los núcleos hijos, de un juego cromosómico —y por tanto de una copia de la información genética— idéntico al del núcleo original. Si la división nuclear no va seguida de la de la célula, el resultado será una célula binucleada y, eventualmente, plurinucleada; pero en la mayoría de las células de animales y vegetales tiene lugar la división celular tras la nuclear, formándose dos células hijas uninucleadas.

Número de cromosomas Las células de cada especie de organismo poseen un número de cromosomas, fijo y constante, característico. El número de cromosomas no está relacionado con la complejidad del organismo; así, en el Reino Animal, los números de cromosomas más altos se dan en ciertos ofidios y, en el Reino Vegetal, en helechos. Las células somáticas de los seres humanos, por ejemplo, contienen 46 cromosomas; las de ratón, 42, y las de los bovinos, 60. Algunos individuos anormales presentan cromosomas en exceso o defecto respecto del juego típico de su especie, lo que determina la aparición de anomalías genéticas. El síndrome de Down, por ejemplo, es una grave enfermedad, con retraso psíquico, debida a la presencia de un cromosoma en exceso, precisamente el número 21 del juego normal, fenómeno que técnicamente se conoce como *trisomía 21*.

En los organismos que se reproducen por vía sexual, las células sexuales o *gametos*, tanto masculinas (espermatozoides) como femeninas (óvulos), tienen un número de cromosomas denominado *haploide*; en nuestra especie el número haploide es de 23 cromosomas. En la fecundación, el óvulo y el espermatozoide se unen para formar una célula zigótica que contendrá, obviamente, dos juegos haploides de cromosomas, número denominado *diploide*; en nuestra especie, la célula zigótica tiene 23 cromosomas provenientes del padre y otros 23 de la madre. Las sucesivas divisiones del zigoto para dar el embrión, y luego el organismo adulto, son mitosis típicas, en las que el número cromosómico se mantiene sin variaciones; de ahí que las células somáticas contengan normalmente un juego diploide cada una.

Cromosomas sexuales En las especies con sexos separados, el sexo de cada individuo depende de sus cromosomas. En las células somáticas, con juego cromosómico diploide, a cada cromosoma heredado del padre le corresponde uno homólogo de la madre; ambos cromosomas homólogos son necesariamente idénticos en morfología excepto una pareja, llamada de *cromosomas sexuales*, de los que dependerá el sexo del individuo. En nuestra especie, por ejemplo, los cromosomas sexuales son muy distintos uno del otro en los varones, habiendo uno mayor, llamado *X*, proveniente de la madre, y otro menor, llamado *Y*, proveniente del padre; en cambio, las mujeres presentan dos cromosomas X, careciendo de Y. En otras especies es la hembra la que presenta los dos cromosomas sexuales heteromorfos, y el macho, idénticos: así ocurre, por ejemplo, en las gallinas.

Veáse **Célula; Desoxirribonucleico y ribonucleico, ácidos; Gen; Genética; Herencia**

SISTEMA AC-DS

A DS GE

B DS

C AC DS AC

A: el gen estructural es activo y el fruto púrpura.
B: el elemento DS se insertó en el gen y lo inactivó; el fruto es blanco.
C: en presencia de un elemento AC, el DS puede disociarse del gen en algunas células, que darán entonces manchas púrpura; el resto del fruto es blanco porque DS sigue en el gen de esas células.

Arriba, elementos genéticos de los cromosomas del maíz. El elemento Activador (AC) puede moverse autónomamente, mientras que el Disociador (DC) sólo puede moverse ayudado por uno AC. Si un elemento DS se inserta en el gen estructural (GE), necesario para sintetizar un pigmento púrpura del fruto, lo inactivará y el fruto será blanco; si el elemento DS se disocia de GE en algunas células, el fruto será blanco con manchas púrpuras





Arriba, células en mitosis teñidas para poner de manifiesto los cromosomas. A la derecha, fotografía de un cromosoma politénico que presenta dos *puffs* a escasa distancia. Los cromosomas politénicos son cromosomas gigantes que se forman por sucesivas duplicaciones de las cromátidas sin que éstas lleguen a separarse.

Crucero

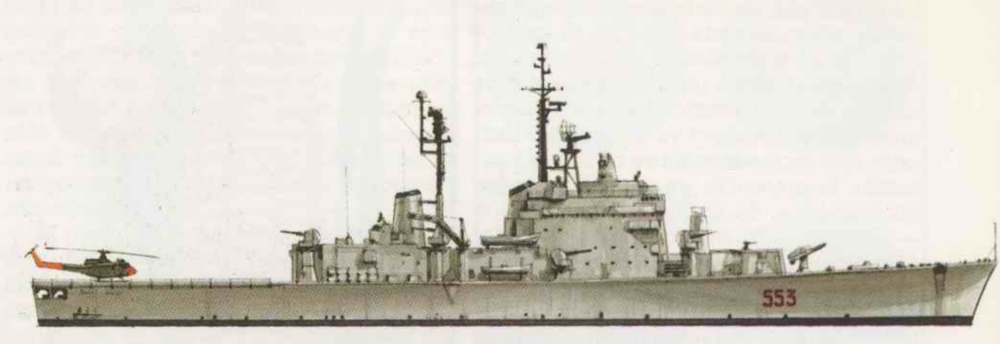
Parece ser que los cruceros, que durante casi un siglo se han contado entre los buques de guerra más activos en los mares y océanos del mundo, comienzan a perder parte de su tradicional importancia, caso de no renovarse por completo en sus características técnicas de empleo.

En la actualidad, es sobre todo la Unión Soviética el país que más activamente trabaja en la realización de nuevos tipos de cruceros. Por su parte los Estados Unidos no han renunciado a construirlos, siguiendo, no obstante, direcciones diferentes que los soviéticos, proyectando unidades destinadas más a la escolta de sus grandes portaviones de ataque que a operaciones ofensivas contra la flota de superficie adversaria.

En la II Guerra Mundial participaron casi 300 cruceros, de los que algo menos de la mitad se perdieron por causas bélicas; en 1983 el número de cruceros en servicio entre todas las Armadas no superaba las 100 unidades.

El crucero es un tipo de buque que siempre se ha distinguido por su gran velocidad, notable armamento y elevado grado de autonomía en relación con su desplazamiento (peso total de la nave) relativamente bajo. Un buen equilibrio entre tales características, que se traduce en otros tantos componentes del desplazamiento (peso de sus órganos propulsores, del combustible, del armamento, etc.), no ha permitido poder asignar muchas toneladas a su blindaje, que generalmente ha sido más bien ligero y a menudo casi inexistente.

En los cruceros más modernos, el empleo de la energía nuclear para la propulsión ha resuelto el problema de la gran autonomía requerida por este tipo de buques. Su armamento incluye normalmente misiles superficie-superficie y superficie-aire, cañones de tipo rápido (con calibres comprendidos en general entre los 76 y los 127 milímetros), diversos tipos de armas antisubmarinas, helicópteros dotados de cohetes y misiles y torpedos antisubmarinos.



Evolución del crucero El crucero representa la evolución natural de la fragata, un tipo de nave de vela del siglo XVIII, veloz y bien armada, en la que por primera vez se utilizó la propulsión a vapor, inicialmente con ruedas de paletas y después con hélice, así como la construcción en hierro del casco.

El crucero, que, como la fragata de vela, tenía como principales misiones la exploración y el ataque y defensa del tráfico comercial, estuvo en servicio en casi todas las grandes Armadas. El comienzo del presente siglo y las dos guerras mundiales lo contemplaron como protagonista de muchos encuentros y de intensa actividad en todos los teatros de operaciones.

El tratado de Washington de 1922 estableció los límites de desplazamiento y armamento de los cruceros, definiéndolos como "pesados" cuando tenían cañones de 203 mm de calibre (8 pulgadas) y un desplazamiento máximo de 10.000 toneladas, y "ligeros" si estaban dotados con armamento inferior. Con la II Guerra Mundial tal definición cayó en desuso, y desde entonces los cruceros se clasifican sobre todo en función de su principal tipo de empleo o de sus características específicas: de escolta, de ataque, antiaéreos, antisubmarinos, lanzamisiles, portahelicópteros, etcétera.

Los modernos cruceros En 1961, la entrada en servicio del crucero norteamericano *Long Beach* abrió una nueva era en el campo de las construcciones navales: se trataba del primer buque de guerra de superficie movido por energía nuclear. Su aparato motor, de 80.000 CV de potencia, permitía a la nave (de 220 m de eslora) desarrollar una velocidad de crucero de más 30 nudos y, lo que es aún más importante, cubrir enormes distancias sin necesidad de tener que reabastecerse de combustible; el primer "cambio" de combustible atómico se hizo necesario sólo después de haber navegado, en un período de cuatro años, 165.700 millas (310.580 kilómetros). El *Long Beach* estaba dotado de los más modernos misiles antiaéreos y de las más sofisticadas armas antisubmarinas de la época, y su misión principal consistía en la escolta de los grupos (*Task Forces*) de portaviones de ataque de propulsión nuclear.

Arriba, el crucero portahelicópteros *Andrea Doria,* de la Armada italiana. Botado en 1963, fue el prototipo de los cruceros modernos con preferente capacidad aérea presentes hoy en muchas Armadas, y capaces de permitir operar desde sus plataformas de vuelo a helicópteros antisubmarinos y aviones *V/STOL*.



Arriba, el crucero norteamericano *Long Beach*, primer buque de guerra de superficie a propulsión nuclear. Hoy la Armada de los Estados Unidos dispone de una decena de modernos cruceros de propulsión nuclear, que emplea para la escolta de los grandes portaviones de ataque.

Abajo, uno de los más modernos prototipos puestos en servicio, el gran crucero "de ataque" soviético *Kirov*. Se trata de una unidad de propulsión nuclear con una notable capacidad ofensiva superficie-superfice, representada sobre todo por una dotación de 20 misiles tipo SS-N-19, de más de 250 millas de alcance, instalados en otros tantos "pozos" verticales situados en la zona centro-proa del buque.
Más abajo, a la derecha, detalle de una rampa doble para misiles antiaéreos del tipo SA-N-1-GOA, de que están dotados muchos cruceros soviéticos.

Otro interesante prototipo de crucero construido al comienzo de los años sesenta fue el italiano *Andrea Doria*, que, con su gemelo *Cayo Duilio*, constituyó el primer grupo de cruceros lanzamisiles-portahelicópteros con preferente misión antiaérea y antisubmarina.

La fórmula nacida con los *Doria* ha vuelto a ser tomada en consideración y mejorada en años posteriores. Hoy, los cruceros-portahelicópteros y portaviones de despegue vertical/corto (*V/STOL*) están en servicio o en construcción en muchas Armadas: Unión Soviética (clases *Moskva* y *Kiev*), Italia (*Vittorio Veneto* y *Garibaldi*), Gran Bretaña (clase *Invencible*), Francia (*Juana de Arco*), España (*Príncipe de Asturias*). Partiendo del *Long Beach*, la Armada de los Estados Unidos ha desarrollado en los años posteriores numerosos tipos de cruceros de escolta, ya sean de propulsión nuclear o convencional. El último construido es el *Ticonderoga*, que entró en servicio en 1983. Aunque se trata de una unidad de desplazamiento no elevado (10.000 toneladas) y con propulsión convencional (turbinas de gas), su coste, en buena parte debido a las muy sofisticadas instalaciones electrónicas, ha superado los mil millones de dólares.

El más significativo prototipo de crucero entre los últimamente puestos en servicio es el *Kirov*, aparecido en 1981. Se trata de un gran crucero definido "de ataque", o "de batalla", por sus destacadas características ofensivas derivadas sobre todo del pesado armamento de misiles superficie-superficie de que va dotado. El *Kirov* es un buque de más de 25.000 toneladas, 250 metros de eslora, propulsión nuclear, velocidad máxima de 35 nudos, y probablemente dotado también de mamparos y puentes acorazados coincidiendo con los órganos vitales.

Véase **Buque de guerra**

Crustáceos

Con el nombre de *Crustáceos* se conoce a un grupo de invertebrados caracterizados por presentar una costra rígida recubriendo su cuerpo. Constituyen una de las clases más numerosas dentro de los Artrópodos, contando aproximadamente con 26.000 especies. Entre ellas se encuentran la pulga de agua, los cangrejos, langostinos, balanos, percebes, etc. La mayoría son marinos, aunque existen especies de agua dulce e incluso terrestres y semiterrestres. Casi todos son de vida libre; algunos nadan libremente en el plancton, mientras que otros viven en las rocas, desde la zona de mareas hasta grandes profundidades. Existen algunas especies parásitas, pero están tan modificadas que sólo se reconoce que son crustáceos por sus formas larvarias.

La organización interna de los crustáceos es parecida a la del resto de los artrópodos, de los que se diferencian por la presencia de antenas, mandíbulas y maxilas como apéndices cefálicos. Otra diferencia importante es la respiración branquial; las branquias se encuentran generalmente asociadas a los apéndices torácicos. En muchos grupos, sin embargo, especialmente los integrados por individuos de pequeño tamaño, no existe respiración branquial y el intercambio de gases se realiza a través de la superficie general del cuerpo.

Caracteres externos El cuerpo de los crustáceos está cubierto por un exoesqueleto, compuesto de quitina y carbonato cálcico que le dan la rigidez característica. Este esqueleto es blando en las articulaciones entre los segmentos, permitiéndoles así flexibilidad para el movimiento.

La cabeza es más o menos uniforme en toda la clase, y es portadora de cinco pares de apéndices: en primer lugar un par de anténulas y un par de antenas, a las que siguen un par de mandíbulas cortas y fuertes con superficies triturantes. Detrás de ellas se aprecian dos pares de apéndices alimenticios accesorios, que son la primera y segunda maxilas.

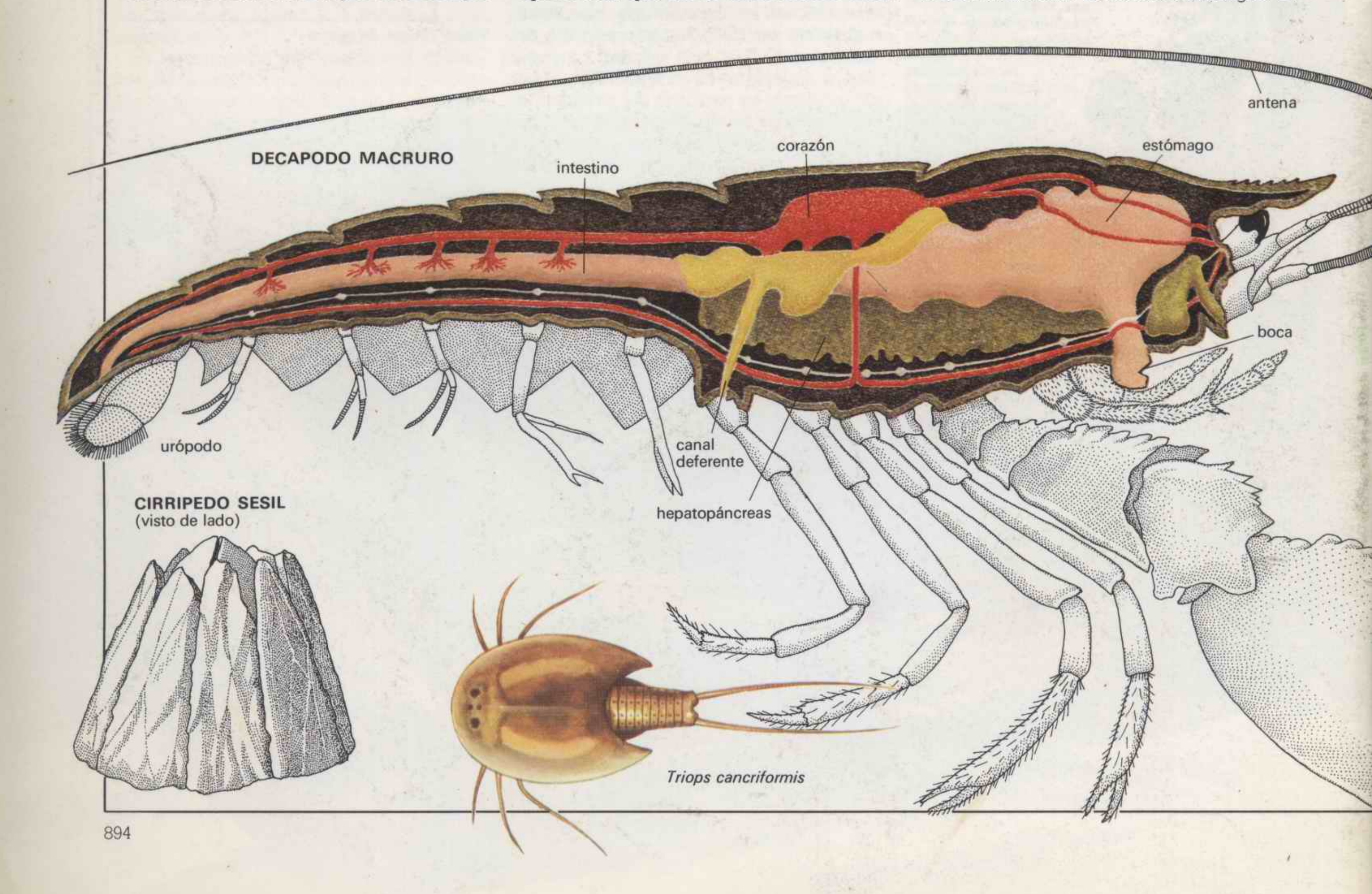
El tronco es mucho menos uniforme que la cabeza. Primitivamente está compuesto por una serie de segmentos bien definidos y similares, pero sufre diversos grados de especialización en casi todos los crustáceos. En términos generales el tronco está dividido en tórax y abdomen, pero el número de segmentos de cada uno varía en los distintos grupos de forma característica. Es frecuente, por otra parte, que el tórax o segmentos anteriores del tronco estén cubiertos por un único esqueleto, el caparazón, el cual puede abarcar también los segmentos de la cabeza para formar un cefalotórax, como ocurre en las langostas. En casos extremos el caparazón puede envolver el cuerpo completamente, como en los ostrácodos.

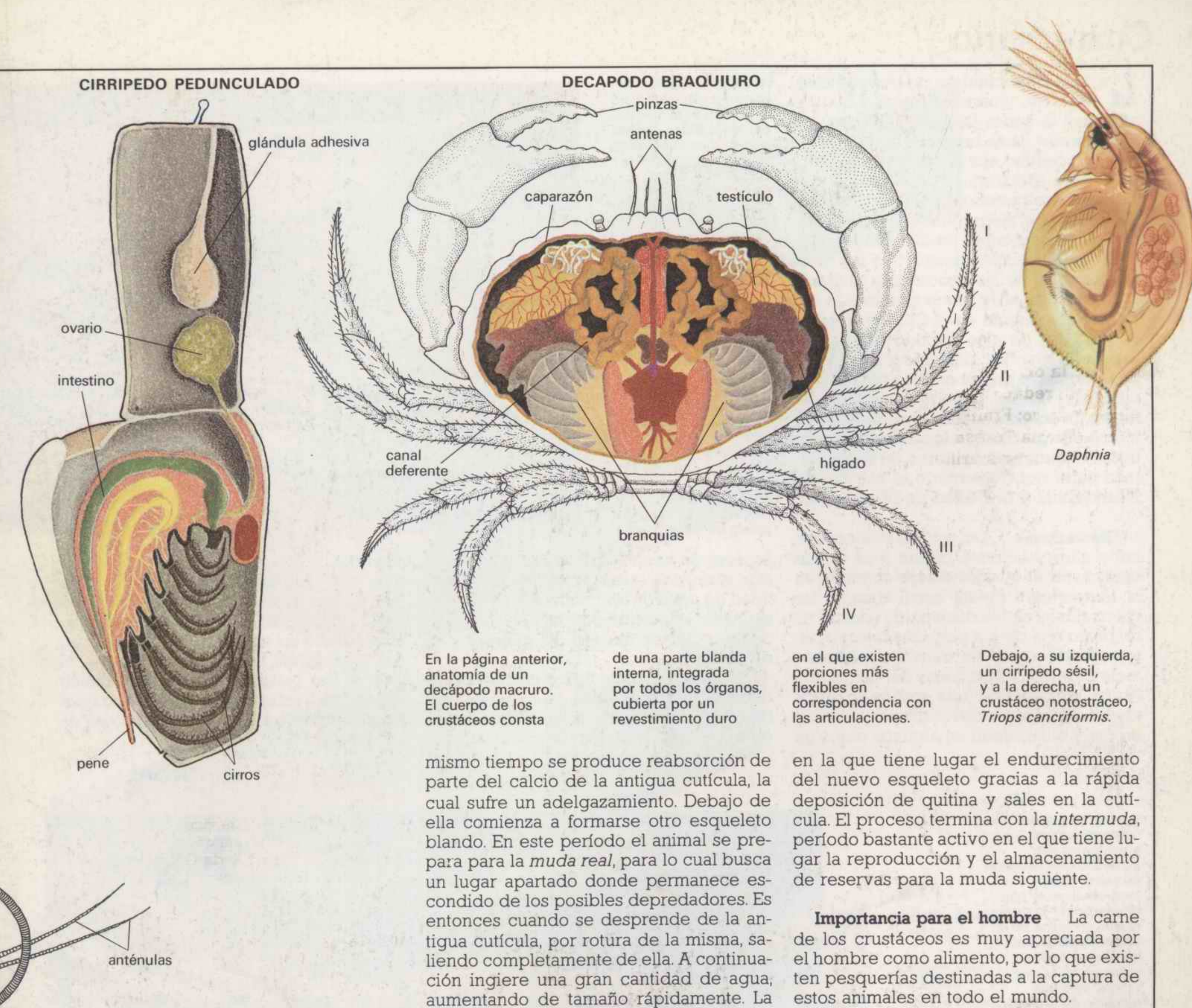
Además de los apéndices cefálicos mencionados anteriormente, las diferentes partes del cuerpo son portadoras de apéndices, que en el tórax suelen tener forma de patas. Estos apéndices han experimentado una amplia gama de variaciones para adaptarse a una gran diversidad de funciones, como son la recepción sensorial, masticación, natación, locomoción, respiración, captura del alimento y su manipulación, cópula e incubación de los huevos.

Reproducción y desarrollo A excepción de los Cirrípedos (balanos, percebes) y algunos miembros de grupos aislados, que son hermafroditas, los crustáceos tienen los sexos separados. La fecundación es interna, y queda asegurada por la presencia en el macho de una serie de apéndices modificados destinados a retener firmemente a la hembra durante la cópula. Los huevos fecundados serán incubados generalmente por la hembra, durante períodos de tiempo variables, según las especies. Dichos huevos pueden estar encerrados en una cámara de incubación o pueden quedar fijados a determinados apéndices.

De los huevos fecundados se desarrollan larvas, muchas de las cuales suelen vivir en el plancton nadando libremente. De ellas se originarán, a través de un número determinado de mudas y modificaciones (metamorfosis), los individuos adultos.

El proceso completo de muda en los adultos tiene cuatro fases. La *premuda*, que se caracteriza por una acumulación de reservas alimenticias y por un aumento de los niveles de calcio en sangre. Al





En la página anterior, anatomía de un decápodo macruro. El cuerpo de los crustáceos consta de una parte blanda interna, integrada por todos los órganos, cubierta por un revestimiento duro en el que existen porciones más flexibles en correspondencia con las articulaciones.

Debajo, a su izquierda, un cirrípedo sésil, y a la derecha, un crustáceo notostráceo, *Triops cancriformis*.

mismo tiempo se produce reabsorción de parte del calcio de la antigua cutícula, la cual sufre un adelgazamiento. Debajo de ella comienza a formarse otro esqueleto blando. En este período el animal se prepara para la *muda real*, para lo cual busca un lugar apartado donde permanece escondido de los posibles depredadores. Es entonces cuando se desprende de la antigua cutícula, por rotura de la misma, saliendo completamente de ella. A continuación ingiere una gran cantidad de agua, aumentando de tamaño rápidamente. La tercera fase del proceso es la *postmuda*,

G. S. Giacomelli

G. Mazza

Sobre estas líneas, a la izquierda, un isópodo terrestre; a la derecha, el pequeño *Podon polyphermoides*, un cladócero marino. Arriba: a la izquierda, sección de un cirrípedo pedunculado; en el centro, un gran decápodo braquiuro; a la derecha, la delicada y diminuta estructura de una *Daphnia*, uno de los cladóceros más abundante en las masas de agua estancada.

en la que tiene lugar el endurecimiento del nuevo esqueleto gracias a la rápida deposición de quitina y sales en la cutícula. El proceso termina con la *intermuda*, período bastante activo en el que tiene lugar la reproducción y el almacenamiento de reservas para la muda siguiente.

Importancia para el hombre La carne de los crustáceos es muy apreciada por el hombre como alimento, por lo que existen pesquerías destinadas a la captura de estos animales en todo el mundo.

Muchas de las especies pequeñas, como *Daphnia* y larvas de otras especies, son utilizadas como alimento de peces de acuario y cultivos marinos. Sin embargo, existen especies que causan perjuicios al hombre, como los percebes, los cuales se fijan en grandes masas a los cascos de los buques y pueden llegar a limitar su capacidad de movimiento. Algunas especies de copépodos son los huéspedes intermediarios de gusanos parásitos del hombre y de algunos vertebrados.

Los crustáceos, por su gran variedad de formas y costumbres, son elementos importantes en varios niveles de las cadenas tróficas. Muchos de ellos son depredadores, pero los pequeños crustáceos, que abundan tanto en las aguas dulces como saladas (integrando en alta proporción el zooplancton), constituyen un eslabón importante en el ciclo del alimento de muchos peces y otros animales que son útiles para el hombre.

Véase **Biología marina**

Cuaternario

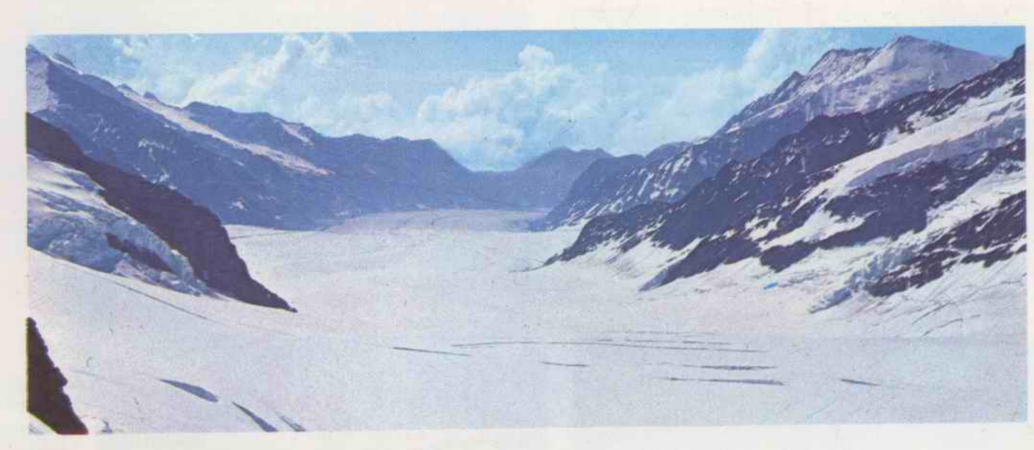
La "edad del hombre", el período Cuaternario, comenzó hace 1.800.000 años con la época llamada Pleistoceno y se extiende hasta nuestros días a través del Holoceno, o época reciente, que empezó hace 10.000 años. Aun siendo el más breve de los períodos geológicos, es también el más y mejor conocido, por el hecho de que sus capas fosilíferas no han sufrido tanto la acción destructiva del tiempo como las de las épocas más antiguas.

El hombre, tal y como nosotros lo conocemos, apareció en el Cuaternario. Características de este período son la presencia de grandes glaciares y la de grandes mamíferos que se movían por los continentes, y de los cuales muchas especies tenían un aspecto similar al de hoy en día. Junto a los glaciares, a los mamuts y a los tigres con dientes en forma de sable, forman parte del Cuaternario el hombre de Neanderthal y la ciudad de Nueva York.

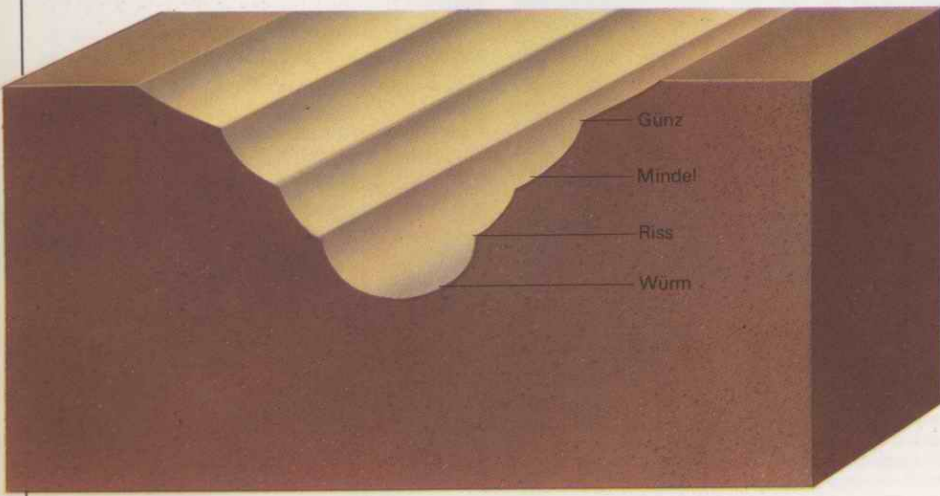
A la derecha, vista de parte del glaciar Mer de Glace, en el macizo del Mont Blanc, ladera norte. Es un imponente glaciar formado por la confluencia de glaciares menores. Está colocado sobre los pequeños valles glaciares excavados durante el Pleistoceno por un glaciar mucho mayor, que cubría, como un único casquete, toda la cadena de los Alpes. Allá donde el fondo del valle se inclina más, la lengua glaciar se parte y forma estos característicos "fragmentos de hielo". Pese a su aspecto imponente, este glaciar da sólo una pequeña idea de cómo era el ambiente cuando, en su apogeo, cubría las cimas.

Glaciaciones Durante el Pleistoceno, hubo alternadamente climas fríos y más cálidos; en el interior de los continentes, la temperatura media anual durante las glaciaciones habría disminuido unos 10 °C respecto a la de los períodos interglaciares. Cuatro veces un inmenso manto de hielo cubrió amplias zonas del hemisferio Norte, adquiriendo una extensión trece veces superior a la de los glaciares de hoy en día y alcanzando en algunos casos un espesor de hasta 2 kilómetros. El nivel del mar variaba al quedar retenida gran cantidad de agua en los continentes en forma de hielo, descendiendo el nivel general de los océanos durante las grandes glaciaciones.

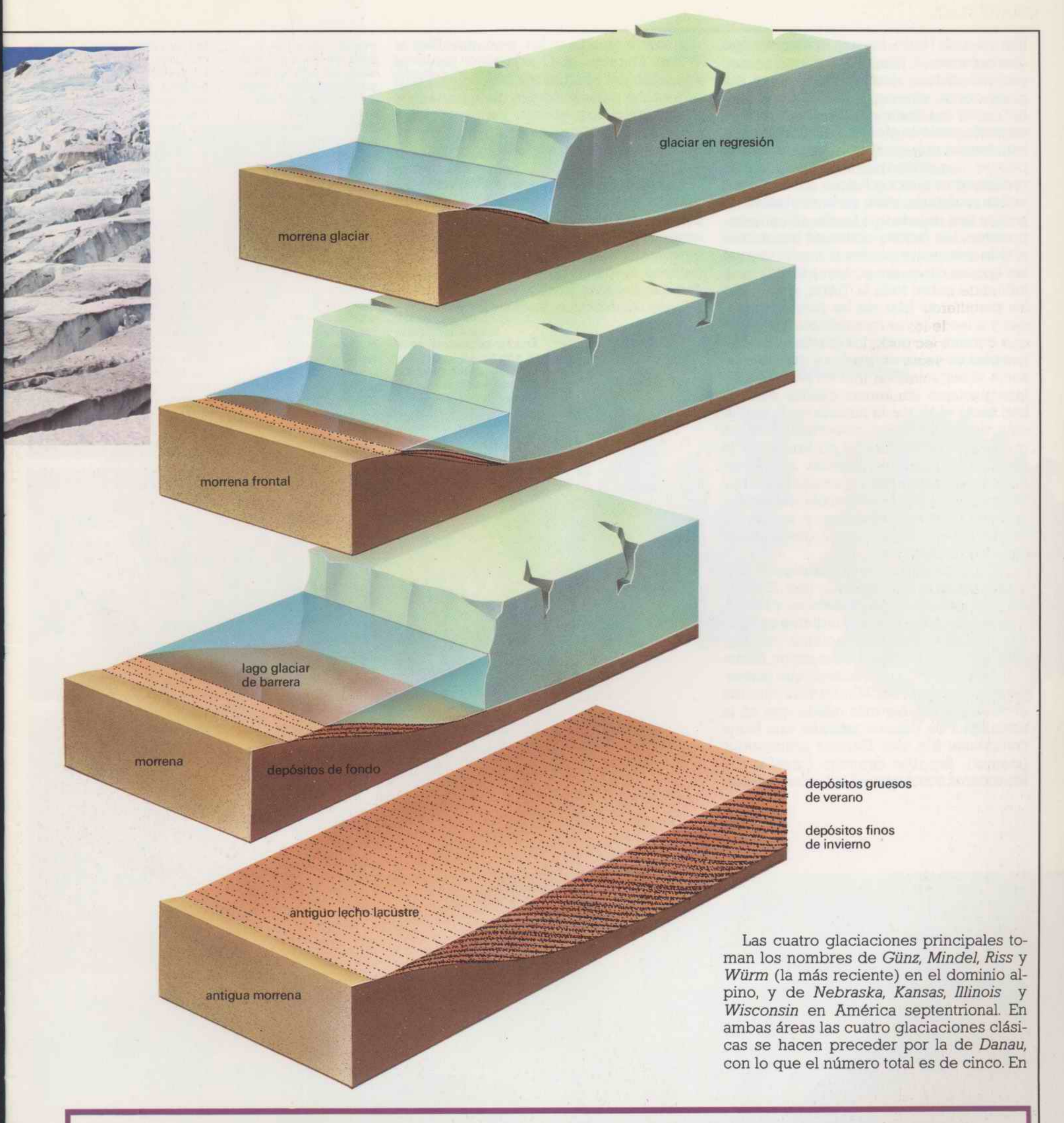
La fusión del hielo de los glaciares produce una notable subida del nivel del mar. Uno de los resultados de esas variaciones de nivel del mar fue la aparición del "puente" de tierra en el estrecho de Bering, que unía Siberia con Alaska y que posibilitó el paso de varias oleadas migratorias en la época del avance de los glaciares. Entre las especies que atravesaron ese "puente" de tierra están el bisonte, el alce, el oso pardo y el hombre. También la flora del Cuaternario estuvo influida por los movimentos de avance y retroceso de los glaciares.



Las cuatro glaciaciones cuaternarias más importantes han excavado una sucesión de valles alpinos y progresivamente han profundizado el surco glaciar en forma de U. Como consecuencia de esto, el perfil de los valles ya no es una U simple, sino una sucesión de U más pequeñas, excavadas sucesivamente en el centro de las anteriores más grandes y más abiertas, que quedan "colgadas", es decir en → una posición topográfica más elevada, como se ve en el esquema que se encuentra a la izquierda de estas líneas, donde la excavación más profunda corresponde a la acción de los hielos de la última glaciación. La foto superior documenta este fenómeno: el glaciar actual ocupa solamente el fondo del cauce glaciar excavado durante la última glaciación, la del período Würm.



Para la datación de los fenómenos cuaternarios no se puede utilizar un cronómetro radiactivo eficaz. Por ello hay que recurrir al método de las *varvas glaciares*. Consiste en identificar, allí donde se han depositado sedimentos en el fondo de lagos de barrera glaciar, las capas de limo grueso y de limo fino, que se han formado, respectivamente, durante el rápido derretirse de las nieves en verano y durante la quietud invernal.



Las cuatro glaciaciones principales toman los nombres de *Günz, Mindel, Riss* y *Würm* (la más reciente) en el dominio alpino, y de *Nebraska, Kansas, Illinois* y *Wisconsin* en América septentrional. En ambas áreas las cuatro glaciaciones clásicas se hacen preceder por la de *Danau*, con lo que el número total es de cinco. En

El Cuaternario es el período de las glaciaciones. Pero no hay que olvidar que durante su extensión, reducida en el tiempo si la comparamos con la de cualquier otro período y era, se han completado los movimientos de levantamiento de las grandes cadenas montañosas recientes; además, los continentes han proseguido su movimiento de deriva. Muchos volcanes, casi todos inactivos hoy en día, han derramado sus efusiones por todos los continentes. En conclusión, tanto en el campo geológico como en el biológico, los cambios rápidos han sido los impresos por la alternancia de las épocas glaciares. Desde el punto de vista geológico, éstas han producido la erosión de los relieves, y los surcos de los valles del Himalaya, de las Montañas Rocosas, de los Andes, de los Alpes, de los Pirineos, etc., se han profundizado fuertemente debido a su ocupación por los hielos. Además, las zonas donde éstos, con sus extensos casquetes, han formado una cobertura continua han quedado aplanadas. El paisaje ahora es el de una llanura apenas ondulada donde alternan lagos y lagunas con alturas modestas. Ese es el paisaje típico de Canadá y de Escandinavia. Por otra parte, la enorme cantidad de agua recogida bajo forma de hielo sobre las tierras emergidas ha hecho descender el nivel de los mares en un centenar de metros, dejando al descubierto grandes áreas de las plataformas continentales, que volvían a cubrirse en los períodos interglaciares. En el mundo biológico, la alternancia de períodos fríos y cálidos ha llevado a la desaparición de floras enteras, sustituidas después por flora característica del nuevo clima. Los animales han evolucionado aún más rápidamente y ha hecho su aparición el hombre en las formas actuales.

Europa del Norte se han conocido tres glaciaciones, la *Elster* durante el primer período glaciar (correspondiente a las glaciaciones alpinas Donan, Gürt y Mindel), y las del *Saale* y el *Vístula* durante el segundo período glaciar. Las glaciaciones han tenido una gran influencia sobre el paisaje, haciendo que áreas montañosas redujesen su altura y fuesen surcadas por valles profundos; pero en la evolución de la vida han dejado una huella aún más importante. Las formas vivientes han sobrevivido solamente gracias al hecho de que las épocas glaciares no han extendido su influencia sobre toda la Tierra, sino sólo a las partes más frías de las zonas templadas y a los relieves montañosos. De forma que durante los períodos glaciares las faunas frías se veían obligadas a desplazarse hacia el Sur, mientras que en los períodos interglaciares las faunas cálidas emigraban hacia el Norte: la historia de la evolución de los animales cuaternarios es, en gran parte, la historia de su lucha por la adaptación a las alternancias climáticas.

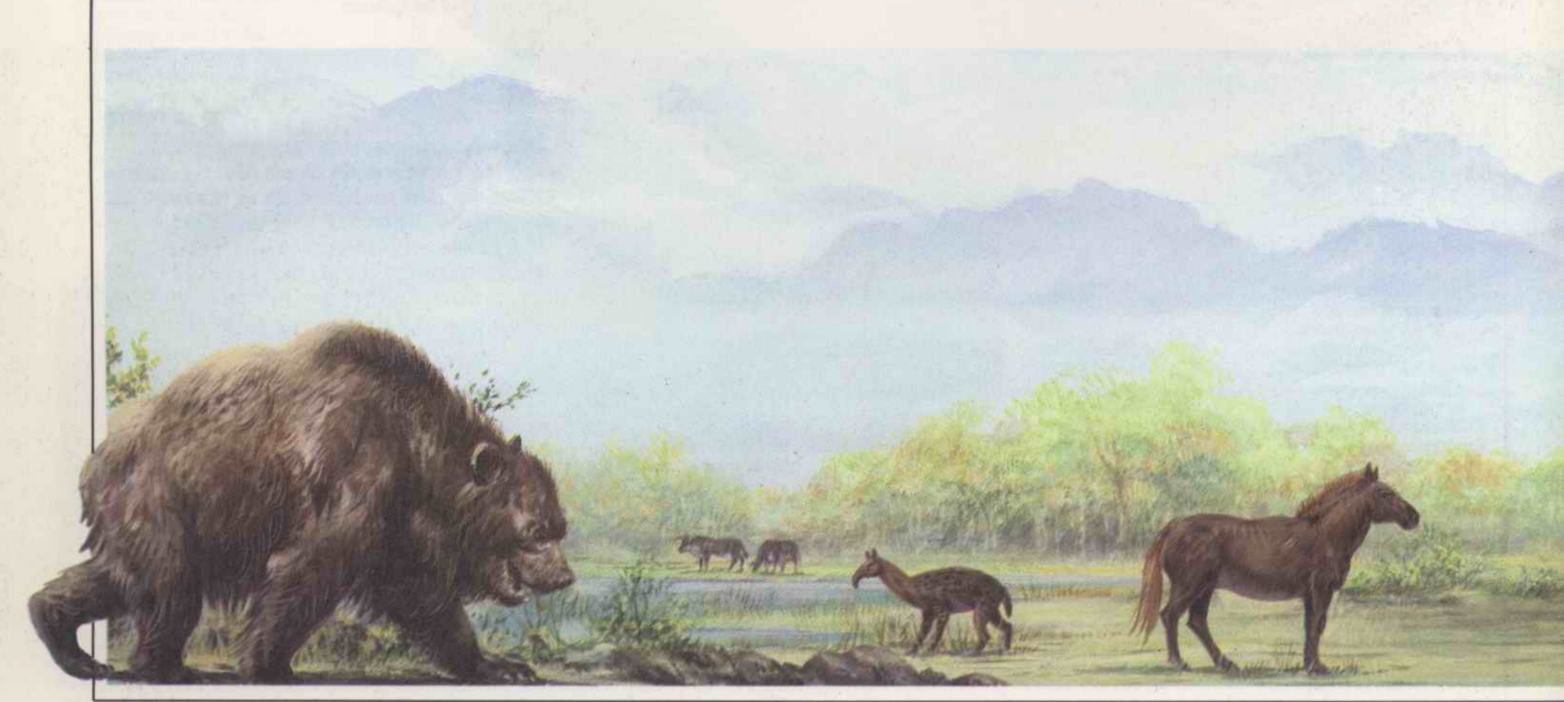
En los mares se distingue una fauna fría, caracterizada por la presencia del lamelibranquio *Cyprina islandica*, y una fauna cálida, caracterizada por el gasterópodo *Strombus bubbonius*.

En los continentes se distinguen dos faunas cálidas: una antigua, con *Elephas meridionalis*, *Rhinoceros etruscus* y *Mastodom arvernensis*, correspondiente al Villafranquiense, y otra más reciente, con *Elephas antiquus*, *Hippopotamus major*, *Rhinoceros mercki* y *Ursus spelaeus*, que corresponde al interglaciar Mindel-Riss, durante el cual el clima fue más cálido que en la actualidad. Se conoce también una fauna continental fría, con *Elephas primigenius* (mamut), *Rangifer tarandus* (gran reno), *Rhinoceros ticorhinus* y *Ovibos moschatus*, que corresponde a los períodos Riss y Würm. Durante el Cuaternario, salvo la aparición del hombre fósil, no ocurrió ningún hecho paleontológico de importancia. Unicamente aparecieron varios géneros (*Bos*, *Camelus*, *Elephas*, *Equus*, etc.) pertenecientes a familias ya existentes durante el Plioceno.

Las principales fases de la evolución de los prehomínidos y homínidos durante el Cuaternario son las siguientes: en el Cuaternario antiguo y principios del medio existieron los australopitécidos; en el Cuaternario medio y principios del interglaciar Mindel-Riss predominaron *Pithecanthropus*, *Atlanthropus*, *Sinanthropus* y formas

En esta página, abajo, se ven los principales animales presentes en el Cuaternario durante los períodos interglaciares, que eran cálidos. Estos han alternado con los fríos por espacios de tiempo del orden de los cien mil años, lapsos demasiado breves para permitir que las especies desarrollen adaptaciones profundas. Las especies que han sobrevivido son aquéllas que han tenido tanto la posibilidad de desarrollarse como de adaptarse a fuertes cambios climáticos. En la imagen se distinguen, de izquierda a derecha: el *Ursus spelaeus*, la *Hyaena crocuta spelaea*; en el centro, un équido bastante parecido a los équidos actuales más comunes, como el burro y el caballo; a la derecha, en cambio, los gigantescos *Elephas antiquus*, con sus colmillos mucho más curvos que los de su cercano pariente de los climas fríos, el mamut. La fauna del período frío, que aquí no está representada, incluía animales que hoy en día no podemos imaginar en latitudes cálidas como la Europa meridional, en donde incluso vivían los pingüinos. En el centro de la página siguiente, el esqueleto de un tigre con los dientes en forma de sable y un diente de mamut.











La Paleobotánica ha hecho una notable contribución al estudio de los climas del Cuaternario. Junto a estas líneas y en el centro de la página anterior, hojas de chopo encontradas en depósitos interglaciares del Cuaternario medio. En la parte central de esta página, justamente bajo estas líneas, tallos de plantas con incrustaciones de sustancias calcáreas; a su derecha, *Patella ferruginea,* molusco que penetró en el Mediterráneo durante el Pleistoceno superior.

semejantes. El hombre de Neanderthal quizá exista ya al final del Cuaternario medio, correspondiendo su período de mayor apogeo desde inicios del Cuaternario reciente hasta la glaciación Würm. El *Homo sapiens sapiens* apareció probablemente durante el Cuaternario reciente, después de la glaciación Würm.

En la cronología de las principales actividades humanas prehistóricas se distinguen los siguientes períodos: Paleolítico, Mesolítico, Neolítico y Edad de los Metales (estos dos últimos corresponden a la época postglaciar, en la que vivimos actualmente).

Véase **Glaciaciones; Holoceno**



Cuentakilómetros y velocímetro

El *cuentakilómetros* u *odómetro* fue uno de los primeros accesorios montados en los automóviles y sirve para medir y registrar de forma mecánica las distancias (en kilómetros) recorridas por un vehículo.

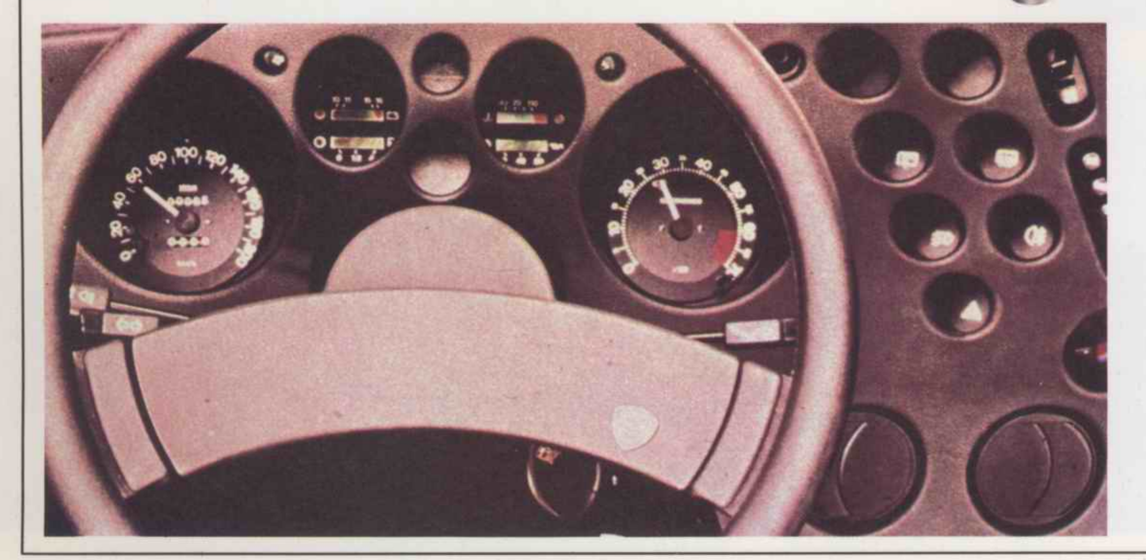
El cuentakilómetros de los automóviles consta de tres elementos: la toma de movimiento, la transmisión y el tambor totalizador. El engranaje de la toma de movimiento se monta en la salida de la caja de cambios y tiene una relación de transmisión dispuesta de modo que a cada revolución del mismo corresponde 1 m de recorrido del vehículo.

El tambor totalizador está formado por tantos tambores parciales, numerados de 0 a 9, como cifras tenga el número máximo de kilómetros que puede registrar el instrumento. Generalmente los cuentakilómetros tienen 5 tambores (capaces de contar de 0 hasta 99.999 Km). Algunos cuentakilómetros incluyen contadores parciales o de jornada con 4 tambores para el registro de distancias relativamente cortas. Estos cuentakilómetros parciales pueden ponerse a cero manualmente en cualquier instante, con una sencilla rotación de un eje a propósito.

Los cuentakilómetros que llevan los barcos se llaman *correderas*, odómetro sencillo montado sobre la barandilla de popa y accionado por una pequeña héli-

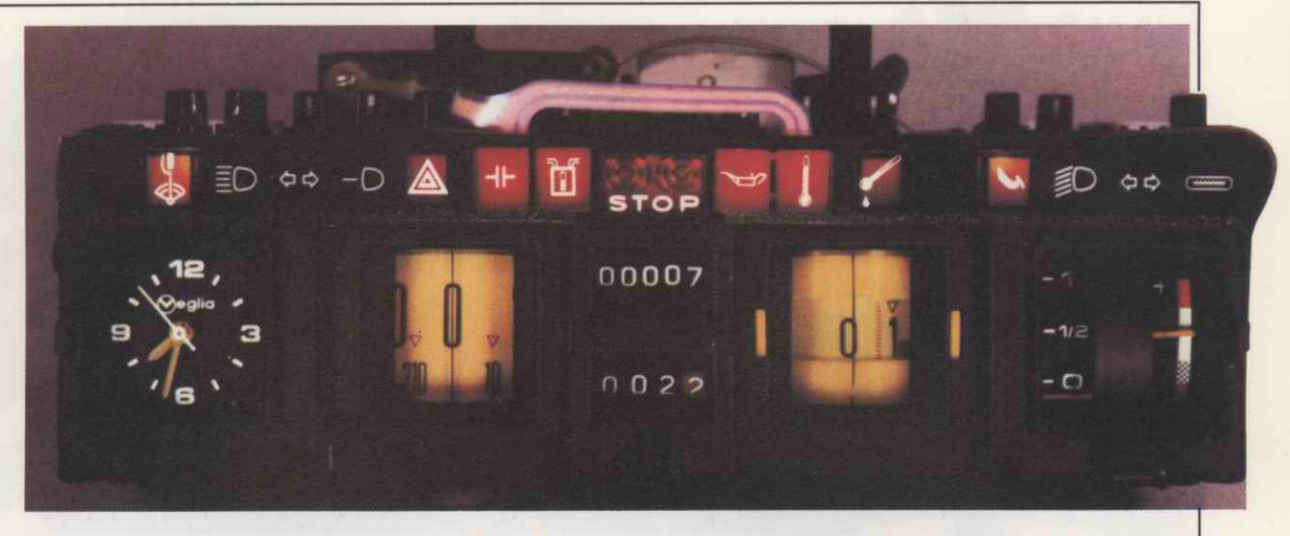
imán permanente
transmisión por cable flexible
tambores cuentakilómetros totales y parciales
aguja indicadora
conjunto móvil
eje del imán
perno de la aguja
engranajes
muelle espiral
esfera
Km/h

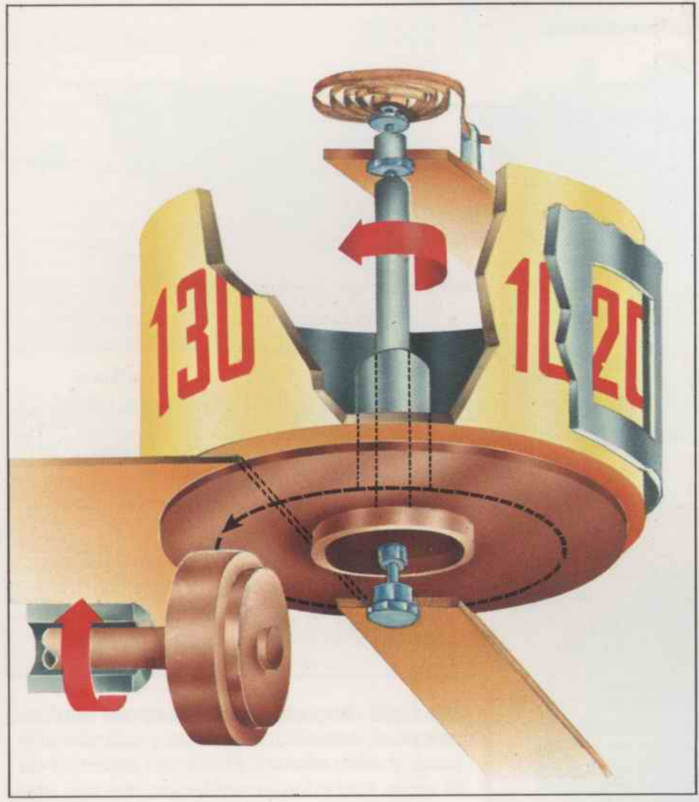
La transmisión del movimiento desde el engranaje al tambor totalizador se efectúa mediante un cable giratorio flexible en cuyo extremo va montado un tornillo sin fin que, engranado con la rueda dentada del tambor totalizador, produce una reducción del movimiento.



Arriba, a la izquierda, vemos un velocímetro, con cuentakilómetros incorporado, del tipo electromagnético accionado mecánicamente mediante una transmisión flexible; a su derecha (sobre estas líneas), un velocímetro lineal de cinta. Aquí abajo, a la izquierda, se ve la completísima instrumentación de un automóvil *Lancia Beta 1.600*. Los cuadros montados en los coches modernos permiten controlar en todo momento el funcionamiento de los distintos órganos del motor y de la instalación eléctrica.

A la derecha, un velocímetro de tambor rotativo. El conjunto móvil, accionado por el imán, hace girar un pequeño tambor cilíndrico, dividido en sectores coloreados, en donde están impresas las cifras de los valores de la velocidad, que pueden verse a través de una ventana (ver abajo). También abajo, pero a la derecha, vemos un velocímetro marca *O.S.* (patente O. Schulze) de principios de siglo. Posee también un cuentakilómetros total y uno parcial, además del indicador de velocidad.







ce que gira gracias al avance del barco y que activa un indicador, a bordo del buque, que marca la velocidad en nudos (el nudo marino equivale a 1,852 kilómetros por hora). Sin embargo, los tipos más corrientes de cuentakilómetros son los de los automóviles.

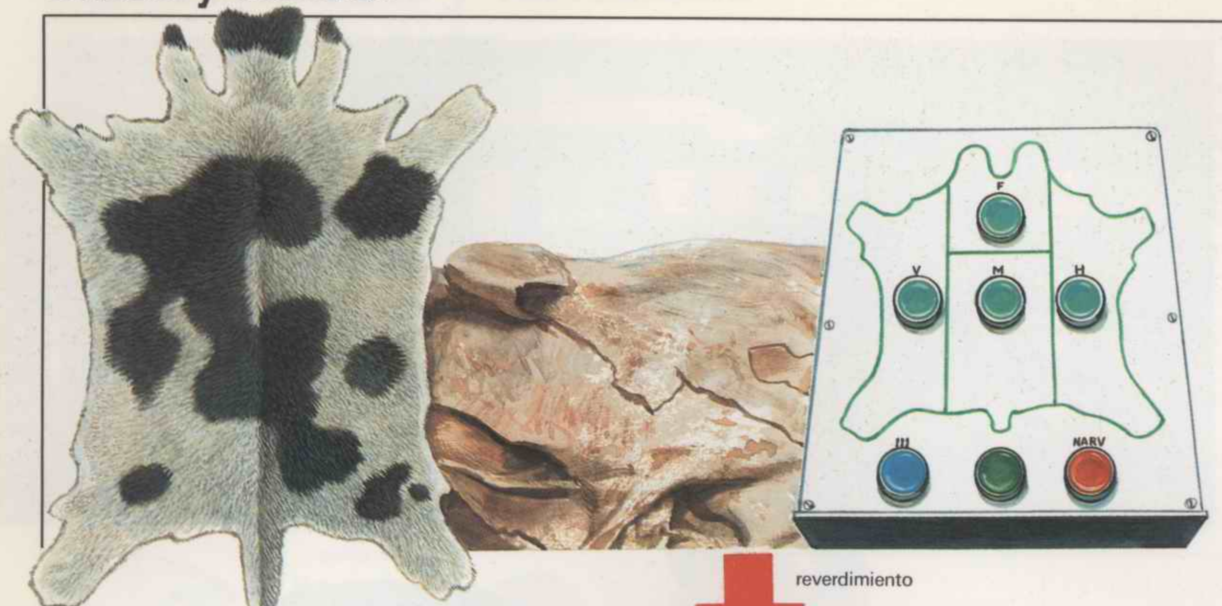
Indicación de la velocidad Los automóviles, las motocicletas y la mayor parte de los vehículos comerciales posteriores a la II Guerra Mundial van equipados con un *velocímetro* o *tacómetro*, medidor de revoluciones que se emplea para indicar la velocidad de avance instantánea. Los velocímetros de los automóviles constan de dos partes: una, conectada a los órganos en movimiento del vehículo y que transmite su velocidad, y otra, constituida por el cuadrante del velocímetro, que indica dicho dato al conductor del vehículo. Inicialmente los velocímetros de los automóviles eran accionados por un engranaje conectado al eje de la rueda anterior. Los dientes de este piñón engranaban con otra rueda dentada más pequeña unida a un cable flexible que transmitía el movimiento al indicador de velocidad. Este sistema de medición de la velocidad del vehículo se utiliza aún en las motocicletas, así como en algunas bicicletas. Sin embargo, la mayoría de los automóviles utiliza velocímetros accionados por un engranaje helicoidal (una rueda con dientes en forma de hélice), situado en la parte del grupo motriz, que a su vez mueve otro piñón helicoidal colocado perpendicularmente al primero.

El modelo más frecuente de indicador utiliza una aguja montada sobre una escala circular o en forma de arco, pero otras veces consiste en una línea coloreada que se mueve a lo largo de una escala recta, horizontal o vertical.

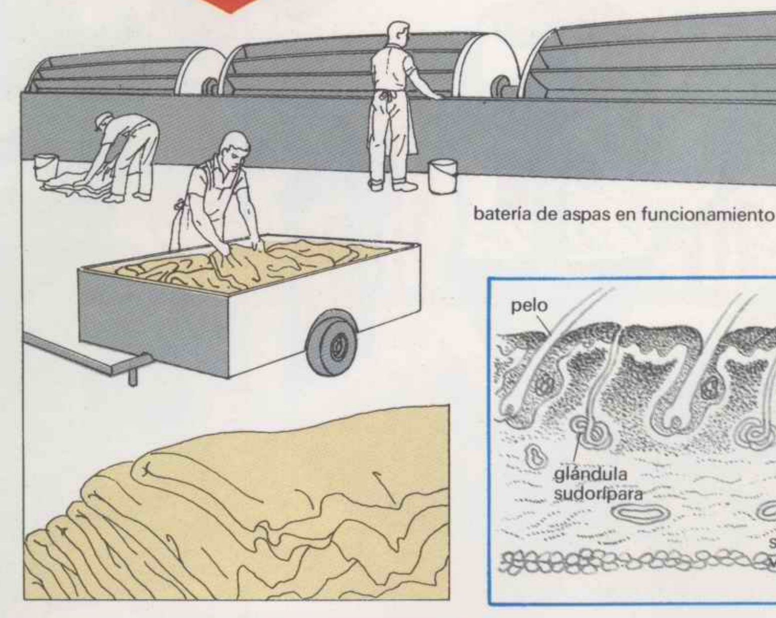
En el tacómetro electrónico, sobre la toma de movimiento se instala un generador de impulsos eléctricos que envía la señal eléctrica al instrumento; la medida de la frecuencia de la señal es proporcional al espacio recorrido; de hecho, no debe olvidarse que el tacómetro está, generalmente, combinado con el cuentakilómetros y que, por tanto, de la toma de movimiento se derivan dos medidas: velocidad angular y número total de revoluciones efectuadas.

Véase **Automóvil**

Cuero y curtido



Las pieles, después del desuello, llegan al curtido conservadas en sal. A la izquierda, pieles en un almacén de curtido y aparato para el control de calidad con indicadores que señalan la presencia de eventuales puntos defectuosos. Abajo, el proceso por el que las pieles son pasadas por agua para quitarles la sal e hidratarlas. Acto seguido se quita el pelo por distintos procedimientos: mediante afeitado enteramente mecánico o con productos químicos y enzimas. Debajo, en el centro, estrato de la dermis que formará el cuero.

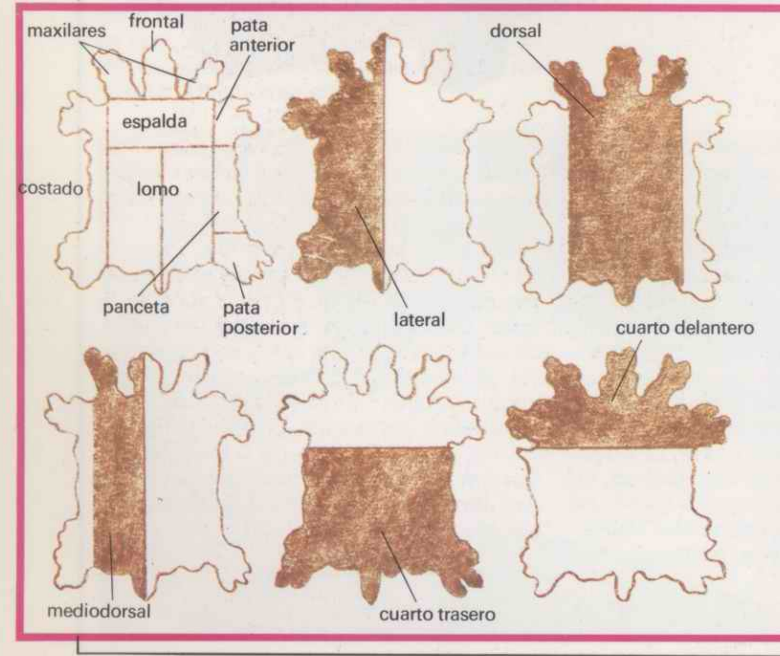


Algunos restos de cuero encontrados en excavaciones arqueológicas demuestran que los hombres prehistóricos tenían conocimiento de las técnicas necesarias para transformar el pelaje de un animal en un material duradero y suave.

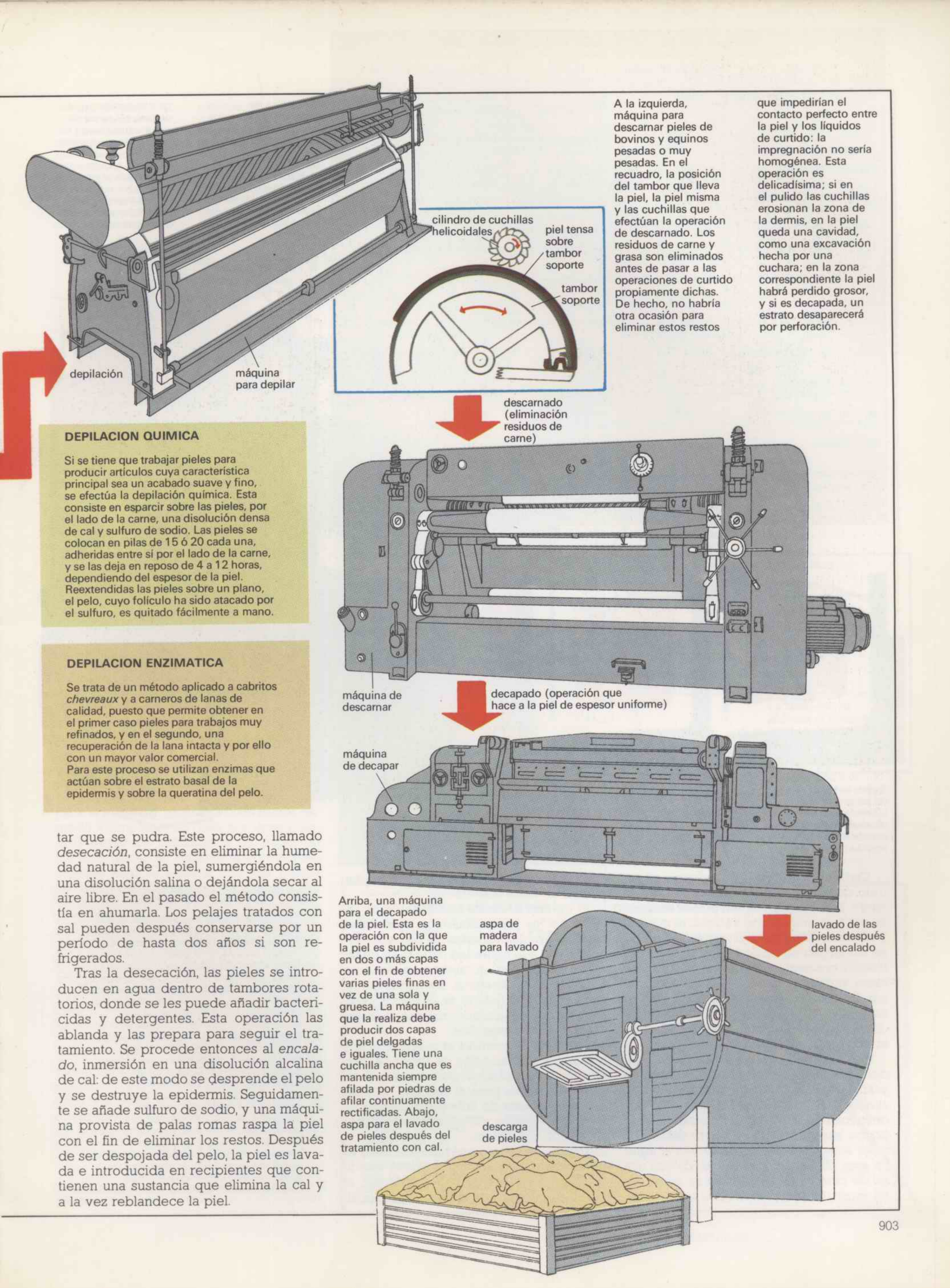
Si bien la manufactura del cuero a partir de la piel de animales es una de las realizaciones más antiguas de la Humanidad, algunas de las técnicas modernas empleadas en este campo son guardadas con celo por las empresas que compiten entre sí en el mercado del cuero. De todos modos los métodos fundamentales para la fabricación del cuero forman ya parte de la historia del hombre.

Preparación de las pieles para el curtido El primer paso a seguir en la fabricación del cuero consiste en cuidar la piel del animal. La piel está compuesta por un estrato superior de pelaje, uno intermedio de duras fibras de proteínas llamado *dermis* (que después se transformará en cuero) y un estrato inferior de panículo adiposo y musculatura. El estrato superior de la piel inmediatamente por debajo del pelo es denominado *grano* y da al cuero obtenido de distintos animales su aspecto característico. En la calidad del corte del cuero influye además la parte del animal de la que se obtiene. El término *piel* se usa generalmente para los animales más pequeños, como las cabras, las ratas almizcleras y los castores, mientras que para los animales más grandes se utiliza, impropiamente, el término *cuero*. A los animales mayores, como bóvidos y caballos, se les quita la piel cortando a lo largo del vientre del animal y separando después la piel de la carne. En el caso de los animales pequeños, las pieles pueden quitárseles cortando en torno a la parte central de las patas posteriores del animal y volviendo luego la piel como un guante.

Después de haber realizado este primer paso, la piel del animal debe ser sometida a un tratamiento especial para evi-



Pieles completas y partes en las que son subdivididas desde el punto de vista de las calidades y de su utilización. No se trata de una simple nomenclatura, ya que, según se efectúa el corte, las pieles permiten distintos usos. Por ejemplo, las pieles bovinas pesadas son seccionadas de manera que ofrezcan el dorso como elemento privilegiado: éste sirve para producir correas para transmisiones mecánicas de elevada resistencia. Los costados sobrantes se aprovechan para trabajos de menor importancia. El corte de los cuartos trasero y delantero se usa para artículos pequeños.



A la izquierda, máquina para descarnar pieles de bovinos y equinos pesadas o muy pesadas. En el recuadro, la posición del tambor que lleva la piel, la piel misma y las cuchillas que efectúan la operación de descarnado. Los residuos de carne y grasa son eliminados antes de pasar a las operaciones de curtido propiamente dichas. De hecho, no habría otra ocasión para eliminar estos restos que impedirían el contacto perfecto entre la piel y los líquidos de curtido: la impregnación no sería homogénea. Esta operación es delicadísima; si en el pulido las cuchillas erosionan la zona de la dermis, en la piel queda una cavidad, como una excavación hecha por una cuchara; en la zona correspondiente la piel habrá perdido grosor, y si es decapada, un estrato desaparecerá por perforación.

DEPILACION QUIMICA

Si se tiene que trabajar pieles para producir artículos cuya característica principal sea un acabado suave y fino, se efectúa la depilación química. Esta consiste en esparcir sobre las pieles, por el lado de la carne, una disolución densa de cal y sulfuro de sodio. Las pieles se colocan en pilas de 15 ó 20 cada una, adheridas entre sí por el lado de la carne, y se las deja en reposo de 4 a 12 horas, dependiendo del espesor de la piel. Reextendidas las pieles sobre un plano, el pelo, cuyo folículo ha sido atacado por el sulfuro, es quitado fácilmente a mano.

DEPILACION ENZIMATICA

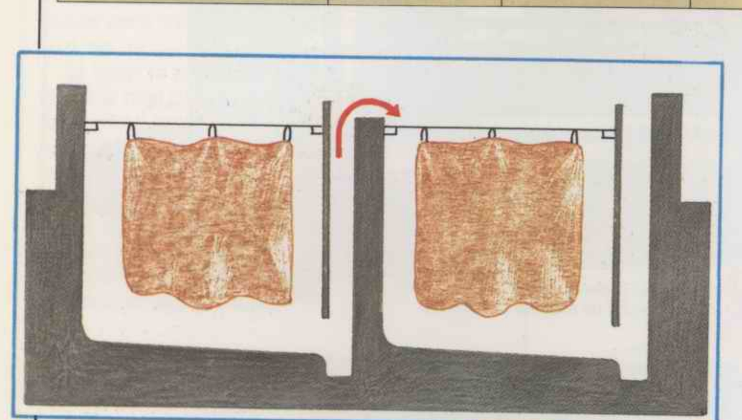
Se trata de un método aplicado a cabritos *chevreaux* y a carneros de lanas de calidad, puesto que permite obtener en el primer caso pieles para trabajos muy refinados, y en el segundo, una recuperación de la lana intacta y por ello con un mayor valor comercial. Para este proceso se utilizan enzimas que actúan sobre el estrato basal de la epidermis y sobre la queratina del pelo.

tar que se pudra. Este proceso, llamado *desecación*, consiste en eliminar la humedad natural de la piel, sumergiéndola en una disolución salina o dejándola secar al aire libre. En el pasado el método consistía en ahumarla. Los pelajes tratados con sal pueden después conservarse por un período de hasta dos años si son refrigerados.

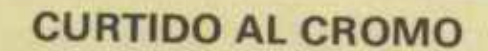
Tras la desecación, las pieles se introducen en agua dentro de tambores rotatorios, donde se les puede añadir bactericidas y detergentes. Esta operación las ablanda y las prepara para seguir el tratamiento. Se procede entonces al *encalado*, inmersión en una disolución alcalina de cal: de este modo se desprende el pelo y se destruye la epidermis. Seguidamente se añade sulfuro de sodio, y una máquina provista de palas romas raspa la piel con el fin de eliminar los restos. Después de ser despojada del pelo, la piel es lavada e introducida en recipientes que contienen una sustancia que elimina la cal y a la vez reblandece la piel.

Arriba, una máquina para el decapado de la piel. Esta es la operación con la que la piel es subdividida en dos o más capas con el fin de obtener varias pieles finas en vez de una sola y gruesa. La máquina que la realiza debe producir dos capas de piel delgadas e iguales. Tiene una cuchilla ancha que es mantenida siempre afilada por piedras de afilar continuamente rectificadas. Abajo, aspa para el lavado de pieles después del tratamiento con cal.

CLASIFICACION DE LOS TANINOS Y SUS PROPIEDADES			
Especie	**Partes utilizadas**	**Taninos**	**Efectos sobre el cuero**
alcornoque (*Quercus suber*)	corteza	ácido alcornotánico	cuero muy estable, coloración amarillo oscuro
quebracho (*Schinopsis lorentzii, Schinopsis balansae*)	madera	ácido quebrachotánico	cuero poco blando
castaño (*Castanea sativa*)	madera	ácido tánico del castaño	cuero muy estable, color amarillo oscuro
zumaque (*Rhus coriaria, Rhus typhina*)	hojas	ácido rustánico	cuero blando, color verde-amarillo
catecú (*Acacia catechu*)	hojas	ácido catecutánico	cuero bueno
gambier (*Uncaria gambier*)	hojas	ácido catecutánico	cuero suave, color amarillo-verde
mirobálano (*Terminalia chebule, Terminalia belerica*)	frutos	ácido elagotánico	cuero blando
dividivi (*Cesalpinia coriaria*)	frutos	ácido elagotánico	cuero suave, fuertísimo, coloración rojiza
valonia (*Quercus aegilops*)	frutos	ácido tánico de la valonia	cuero de color amarillo más o menos intenso
canaigre (*Rumex hymenosepalus*)	raíz	ácido tánico de la canaigre	cuero particularmente blando y coloración anaranjada
palmito (*Sabal palmetto*)	corteza	ácido tánico del palmito	
pino (*Pinus*)	corteza	ácido tánico del pino	cuero de color amarillo más o menos intenso
quejigo (del *Quercus infectoria*)	agallas que se forman sobre la corteza de los alcornoques	ácido tánico de las agallas	



sección de recipientes para el curtido al cromo



Arriba, la tabla de los principales taninos vegetales que se emplean en el curtido de la piel. Incluso pequeñas diferencias de composición de estos taninos pueden conducir a distintos resultados en el curtido, por lo que la elección del tanino de la esencia vegetal adecuada es de suma importancia. Abajo, un gran tambor de madera para el curtido rápido de pieles. Las pieles son mantenidas en un baño y removidas con un movimiento alternado que se puede obtener por medio de un cambio de dos velocidades. En la foto, un bombo de precoloración.

Curtido El curtido transforma el estrato de piel que constituye la dermis en cuero. Esta transformación puede realizarse por tres métodos: el vegetal, el mineral y al aceite. En el *curtido vegetal* las pieles se sumergen en ácido tánico de concentración creciente durante un período de hasta varias semanas para los cueros duros. El curtido vegetal a base de taninos es empleado para fabricar cueros destinados a suelas de zapatos, bolsos, maletas y arreos (para caballerías).

El *curtido mineral* es mucho más rápido. Durante miles de años el hombre ha practicado este método, utilizando sal de alumbre. A mediados del siglo XIX fue descubierto otro curtidor mineral: la sal de cromo, que producía un cuero duro y de color azulado, bastante resistente al agua. En este método la piel es tratada con una sal de cromo combinada con un ácido débil, en un tambor giratorio. Las sales de circonio, también usadas en el curtido, dan cueros de color blanco.

El *curtido al aceite* es un derivado directo de los procedimientos ancestrales; en él se emplean aceites de pescado que sustituyen a la humedad natural. Se utiliza sobre todo para la obtención de ante.

Los taninos sintéticos, obtenidos del fenol y del formaldehído, se utilizan a veces para aclarar los cueros curtidos al cromo o con taninos vegetales.

Después del curtido, el cuero se lava y escurre; a continuación se extiende, cortándolo o rebanándolo para igualar el espesor. Entonces pasa al proceso de *tinte*. Las operaciones de tinte pueden realizarse con diferentes métodos: a brocha, por inmersión o a pistola.

Una vez efectuado el tinte, el cuero es impregnado con aceites y grasas que lo suavizan. Después de esta operación, el cuero se cuelga y se deja secar hasta al-

CURTIDO AL CROMO

El proceso se basa en el principio de que el óxido de cromo actúa sobre el colágeno (fibras proteicas que se encuentran en la dermis) y sobre otros elementos de la piel haciéndolos imputrescibles. El método es empleado para la producción de un tipo de cuero para palas (de zapatos), pieles para la confección y cueros industriales. Por el método de dos baños las pieles son sumergidas, dentro de un recipiente o tambor, en un baño de bicromato potásico y ácido clorhídrico. Se forma ácido crómico que impregna las pieles (la piel en todo su espesor es de color amarillo). Sacadas del baño y después de ser escurridas (protegidas de la luz), se someten a un segundo baño con hiposulfito sódico y ácido clorhídrico, produciéndose una reacción que reduce el ácido a una sal básica de cromo. La coloración de la piel es ahora verde. Para el método de un baño se sumergen las pieles una sola vez en un baño que contenga sulfato doble de cromo y potasio.

Las operaciones de curtido impregnan la piel hasta los poros más internos, y las sustancias después se exprimen con fuerza. Aquí abajo, una máquina de exprimido a alta presión. Esta es ejercida por medio de un cilindro con cuchillas (que se ve en la apertura central del esquema). La cabeza de las cuchillas es plana y la piel es empujada contra ellas por medio del cilindro inferior accionado mecánicamente. Después de esta operación las pieles son de nuevo prensadas, pero esta vez con el empuje hidráulico proporcionado por un plano metálico contra el que se mueven unos rodillos (a la derecha) de bronce o de ebonita, para obtener un mejor resultado.

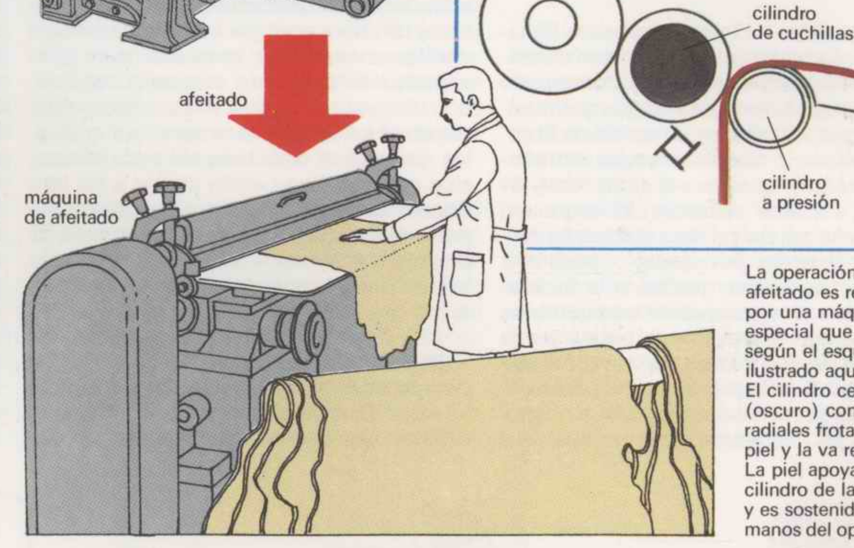


canzar una tasa de humedad del 20%. Si esto no se hace deprisa, los taninos, los tintes y los aceites podrían concentrarse en algunas partes y dejar el cuero a manchas y débil en algunos puntos. Los métodos de *secado* más extendidos son los siguientes: desecado al aire libre —colgando las pieles en ganchos—, desecado al vacío y desecado con cola —en el que el cuero es encolado a una plancha de vidrio o porcelana e introducido en un túnel térmico donde es sometido a distintas temperaturas.

En este momento el cuero está listo para el *acabado*. Es frotado con serrín húmedo y limpiado. Se pasa por unos cilindros giratorios recubiertos de papel de lija para darles un espesor uniforme. Para obtener ante se levanta una fina pelusa por medio de unas muelas que giran a alta velocidad contra el lado interior de la piel. Algunos tipos de cuero son posteriormente impregnados con resinas sintéticas para mejorar su resistencia al frotamiento. El pulido se efectúa con albúmina de huevo, glicerina, goma-laca, cera, aceites y tintes. Acto seguido el cuero es cepillado para obtener una superficie ligeramente brillante.

En los últimos treinta-cuarenta años los cueros sintéticos han sustituido cada vez más a los cueros naturales para cubrir las exigencias particulares impuestas por una gran variedad de aplicaciones. Pero el cuero natural sigue siendo muy apreciado por su aspecto, su suavidad, su resistencia y su buena transpiración.

Veáse **Calzado, industria del; Fibras y tejidos sintéticos; Peletería**



La operación de afeitado es realizada por una máquina especial que opera según el esquema ilustrado aquí arriba. El cilindro central (oscuro) con cuchillas radiales frota contra la piel y la va rebajando. La piel apoya sobre el cilindro de la derecha y es sostenida por las manos del operario.

MEZCLA DE COLORES		COLOR RESULTANTE
Mucho	**Poco**	
naranja	azul	marrón claro
naranja	violeta	marrón tostado
amarillo	azul rojizo	verde aceituna
rojo azulado	amarillo rojizo	burdeos
azul	rojo vivo	violeta azulado
azul	naranja	azul grisáceo
rojo	amarillo	escarlata

Esta tabla muestra las mezclas de colores que se usan para el tinte de las pieles. Las pieles tienen su propio color marrón claro; el tinte es total, no es una simple coloración de la superficie, sino que, de hecho, cubre totalmente el color de la piel que está debajo. Aquí a la derecha, el triángulo de G. Otto, que muestra cómo se hacen los colores para el tinte mezclando los colores base.

Triángulo cromático según G. Otto

AZUL
turquesa
verde
limón
violeta
púrpura
grisáceo
aceituna
marrón
anaranjado
escarlata
AMARILLO
ROJO

Cuerpo humano

Nuestro cuerpo está formado por más de cien mil millones de unidades vivientes o células. Todas ellas derivan de una sola célula, el zigoto, originado por la unión de una célula germinal masculina y una célula germinal femenina. Las células se unen unas con otras formando una variedad de más de veinte tejidos diferentes. Estos constituyen kilómetros de vasos sanguíneos, un cerebro similar a una computadora, los huesos, los pulmones, los músculos. El cuerpo humano es capaz de realizar hazañas fantásticas: puede correr en las Olimpiadas los 1.500 metros en menos de cuatro minutos y ocuparse tanto de la escisión atómica como de los problemas inherentes al origen de la vida.

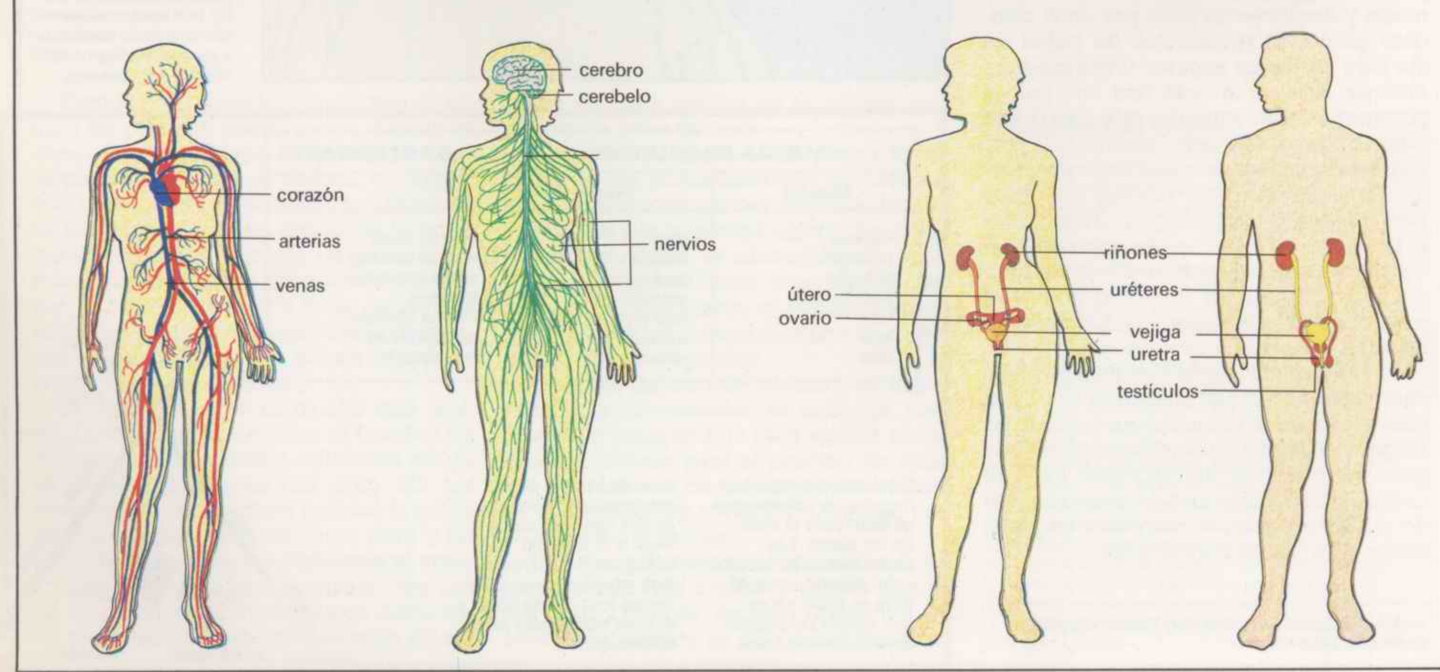
Nuestro cuerpo es una máquina bioquímica de excepcional complejidad, resultado de una evolución que ha durado millones de años. Es capaz de mantener constante la temperatura y de regular las contracciones del corazón y el ritmo de las pulsaciones; ejerce un control continuo sobre los procesos químicos de las células destinados a transformar en energía las sustancias suministradas y a abastecer constantemente, de este modo, la máquina corporal.

El esqueleto El esqueleto es el "chasis" de la formidable máquina que constituye nuestro organismo. Está compuesto por 206 huesos de varias formas y dimensiones y por los cartílagos (sustancia fibrosa y consistente que recubre las extremidades óseas y que, con el transcurso de los años, tiende a osificarse). El esqueleto desempeña muchas e importantes funciones. Nos permite, por ejemplo, mantener una posición erecta, gracias a la inclinación de las articulaciones de los miembros inferiores con respecto a la pelvis y a la curvatura de la columna vertebral. La *caja torácica* protege la parte superior del tronco y los órganos vitales, corazón y pulmones, que se encuentran en su interior. La *médula ósea*, un tejido blando que se halla en las cavidades óseas, produce las células de la sangre. El *cráneo* y las *vértebras* (columna vertebral), el *esternón* (hueso del pecho) y las *costillas* constituyen el eje del esqueleto. Los huesos de las extremidades superiores forman los hombros, los brazos y las manos; los de la extremidad inferior, la pelvis, las piernas y los pies. Los puntos en los cuales los huesos se unen y se mueven se denominan *articulaciones*. Los *ligamentos* (cordones fibrosos, constituidos por tejido conjuntivo) se encuentran en las articulaciones entre un hueso y otro. Los *tendones* y los *músculos* también tienen relación con los huesos; estos últimos pueden moverse gracias a la acción muscular.

Los músculos Los músculos están constituidos por largas fibras celulares, capaces de transformar la energía química en energía mecánica. Constituyen cerca del 40% de la masa corporal total. Cuando se contrae, por ejemplo, el músculo bíceps del brazo, se le obliga a reducir su tamaño de modo que adquiere la apariencia de una masa visible de fibras y se provoca en consecuencia la rotación o la flexión del codo. La contracción de los músculos requiere energía. La actividad de las células musculares consume una gran cantidad de oxígeno y origina la combustión de azúcar; ambas sustancias deben ser abastecidas por la sangre. Los músculos no se unen directamente a los huesos, sino que sus fibras están atadas a los tendones, "cordones" rígidos unidos por una parte al músculo y por la otra al hueso. Es posible darse cuenta de la consistencia de los tendones palpándolos, por ejemplo, en el pliegue del codo.

El sistema nervioso ¿De qué modo se comporta el músculo cuando debe contraerse? Es precisamente el sistema nervioso el que le envía la señal para la contracción. En el ser humano el sistema nervioso se compone de dos partes principales: el *encéfalo* (el centro de control del organismo) y la *médula espinal*, los cuales constituyen el sistema nervioso central; por otro lado, el sistema nervioso periférico está constituido por 12 pares de nervios craneales, que se originan en el encéfalo y se disponen en abanico, y por 31 pares de nervios raquídeos que parten de ambos lados de la columna vertebral como largos y sensibles filamentos. Los nervios raquídeos o espinales llevan al encéfalo las informaciones provenientes de algunos órganos ricos en terminaciones nerviosas, como pueden ser los ojos, los oídos, la nariz y la piel. Estos nervios controlan una serie de fenómenos físicos y bioquímicos tales como el calor, la luz, la presión sanguínea y la temperatura corporal. Estableciendo la comparación con una computadora, el cerebro sería el elemento clave de un complejo sistema biológico de retroacción. Este órgano registra rápidamente la información sensorial, efectúa las modificaciones necesarias y envía, a través de los nervios motores, la orden más apropiada a los músculos, o bien envía a las glándulas especializadas los mensajes químicos adecuados para segregar a la corriente sanguínea las sustancias que en un momento dado se requieren.

Los impulsos nerviosos se transmiten a lo largo de los axones, prolongaciones largas y finas de las células nerviosas, merced a procesos químicos y eléctricos. La actividad originada como consecuencia de un impulso nervioso se denomina *voluntaria* cuando procede de una decisión del individuo (como, por ejemplo, recoger del suelo un lapicero); sin embargo, la mayoría de las actividades desarrolladas por nuestro organismo, como la disgestión y el latido cardiaco, tienen lugar sin la intervención de nuestra voluntad. En este último caso se denominan *actividades autó-*



nomas, dado que son involuntarias y se controlan automáticamente.

El sistema circulatorio El sistema circulatorio está constituido por una bomba central (el *corazón*), un líquido que circula gracias a la acción de la bomba (la *sangre*), y una red de vasos que transportan este líquido por el organismo (las *arterias*, las *venas* y los *capilares*). Gracias al continuo bombeo de sangre por todos los tejidos, el cuerpo activa el metabolismo con el aporte de oxígeno y la eliminación de anhídrido carbónico, y abastece de sustancias nutritivas a todas las células, en las cuales tiene lugar el verdadero proceso de la vida. El corazón está dividido en dos cavidades, una derecha y otra izquierda, completamente separadas entre sí. A la *aurícula derecha* (cámara superior del lado derecho) llega la sangre "consumida", privada de oxígeno, procedente de las venas. Desde aquí desciende a través de una válvula hasta el *ventrículo derecho* (cámara inferior), desde donde es impulsada hacia los pulmones. En los pulmones, la sangre se libera del anhídrido carbónico y se satura de oxígeno fresco antes de retornar al corazón, en este caso a la *aurícula izquierda*. Desciende a continuación a través de otra válvula al *ventrículo izquierdo*, una cámara constituida por una gruesa pared muscular, y desde allí, rica en oxígeno, la sangre se reparte por todo el organismo. El sistema circulatorio es particularmente sensible a las variaciones ambientales, como por ejemplo los estímulos térmicos de calor y frío. En estos casos el sistema circulatorio reacciona con objeto de mantener la temperatura corporal lo más constante posible. La reactividad del sistema circulatorio está garantizada por la intervención del hipotálamo y del sistema endocrino y se ejerce fundamentalmente a través de factores mecánicos como son la dilatación y la constricción de los vasos periféricos.

El aparato respiratorio El aparato respiratorio comienza en las fosas nasales y la boca, lugares por donde se inhala el oxígeno, y termina en centenares de millones de minúsculas cavidades, llamadas *alveolos*, que forman la masa de dos órganos esponjosos, con forma de lóbulos, denominados *pulmones*. Los alveolos, que son saquitos llenos de aire, constituyen el punto de encuentro del aparato respiratorio con el aparato circulatorio; es precisamente en las delgadas paredes de estos saquitos donde la sangre de los capilares cambia el dióxido de carbono por el oxígeno.

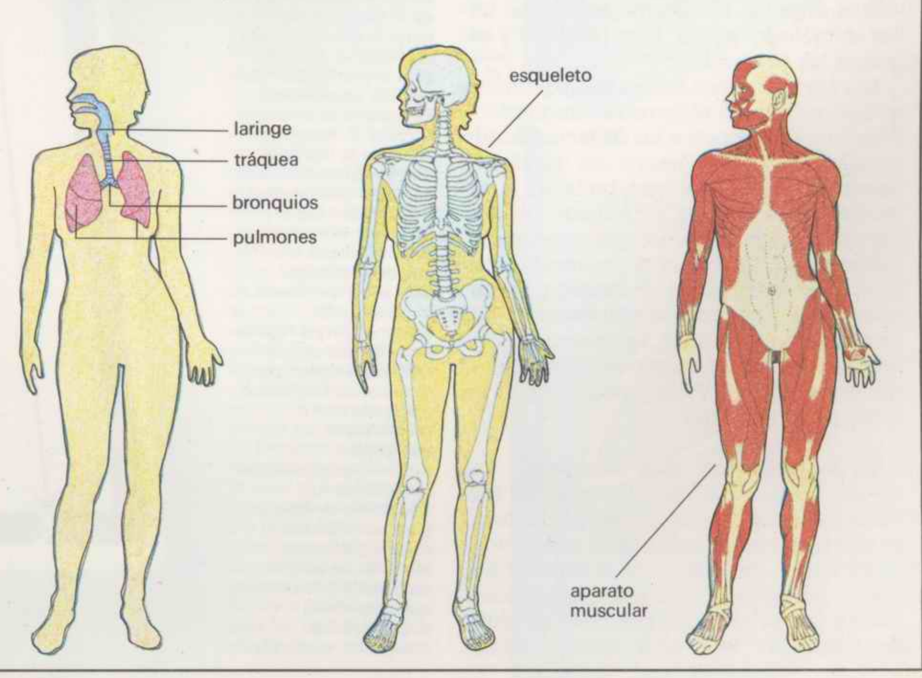
El *diafragma*, un músculo situado debajo de los pulmones, se contrae y se relaja de modo automático haciendo posible la introducción y la expulsión del aire de los pulmones. La *tráquea*, un conducto respiratorio, es un grueso tubo a través del cual pasa el aire inspirado antes de llegar a los pulmones. A corta distancia de la parte superior del corazón, la tráquea se divide en los dos *bronquios*, conductos que transportan el oxígeno tanto al pulmón derecho como al izquierdo. Los bronquios, a su vez, se ramifican en multitud de tubos más pequeños, denominados *bronquiolos*. De las paredes de los bronquiolos parten los *cilios*, apéndices en forma de látigo, los cuales utilizan la secreción de las glándulas de la mucosa que tapiza las paredes bronquiales para retener las partículas de polvo, las sustancias irritantes y las bacterias contenidas en el aire respirado.

La digestión El tubo digestivo es el componente principal del aparato digestivo. Puede compararse con un largo camino biológico que parte de la boca (por donde es ingerido el alimento) y finaliza en el ano (por donde se eliminan los residuos no digeribles e inutilizables). Los tejidos que recubren el tubo digestivo son ricos en vasos sanguíneos, los cuales tienen la función de absorber las sustancias nutritivas y de ponerlas a disposición de las células de todo el organismo. Precisamente por esta razón muchos medicamentos se presentan bajo la forma de píldora, y pasan rápidamente del tracto digestivo a la sangre.

El *esófago* es un estrecho canal a través del cual el alimento pasa de la boca al *estómago*, órgano distensible y de gran capacidad, situado en la parte superior del abdomen. Los potentes ácidos del estómago comienzan a digerir el alimento y el proceso continúa a lo largo de los seis metros del *intestino delgado*. En este órgano tiene lugar el proceso —de capital importancia— de la absorción de los alimentos, gracias a la participación de la altamente especializada pared intestinal, recubierta internamente por gran número de microvellosidades que incrementan considerablemente la superficie de intercambio. El *páncreas*, la *vesícula biliar* y el *hígado*, a través de sus secreciones y enzimas, aceleran la digestión a lo largo del tubo gastrointestinal. El último trecho del tubo digestivo, antes de la expulsión, lo constituye el *intestino grueso*, que recorre varias zonas del abdomen antes de terminar en el *recto*.

El aparato urinario Las sustancias de desecho producidas por la digestión y por el metabolismo de las células y que no han sido expulsadas por el aparato digestivo se eliminan bajo forma líquida a través del aparato urinario. Los *riñones*, dos órganos situados a los lados de la columna vertebral, filtran la urea y el resto de las sustancias residuales de la sangre antes de que puedan alcanzar niveles tóxicos. Los desechos resultantes pasan a través de los *uréteres*, tubos de unos 25 centímetros de largo, hasta la *vejiga*, un órgano contenedor capaz de retener los residuos líquidos. Finalmente, los productos de desecho se eliminan, en forma de orina, a través de la *uretra*.





La piel Todos los aparatos que hemos tratado están protegidos por la piel que recubre la superficie corporal. La piel se considera habitualmente en dos estratos la *epidermis* o estrato superior y la *dermis* o estrato inferior. La epidermis está constituida por un estrato compacto de pocas células, pero, a pesar de su escaso espesor, desempeña un papel de gran importancia para la salud. Efectivamente, nos defiende de los peligros de los rayos ultravioleta, constituye una barrera para las sustancias extrañas y tóxicas y retiene el agua en el organismo. Las células de este estrato se renuevan continuamente.

La dermis tiene un espesor variable entre 1 y 4 mm y desarrolla una importante función en la regulación de la temperatura corporal. Las *glándulas sudoríparas*, que ayudan al organismo a perder calor, se encuentran en la dermis, zona rica también en nervios (para la información sensorial) y en capilares (para enfriar el cuerpo calentado excesivamente). Una capa de grasa separa la dermis de los músculos, huesos y vísceras.

El sistema inmunitario A diferencia de otros sistemas del organismo, el inmunitario no se encuentra localizado en un punto concreto del cuerpo y no está constituido por órganos específicos. A pesar de esto, el sistema inmunitario participa en algunas características funcionales importantes de la médula ósea, del timo, del bazo y de los ganglios linfáticos para producir las células de la sangre y los anticuerpos que se enfrentan a los ataques externos de los virus, bacterias y otros agentes patógenos.

El sistema endocrino Otro sistema que no podríamos localizar en un punto concreto del organismo es el sistema endocrino. Está compuesto por numerosas glándulas pequeñas y por algunos grupos de células especializadas, situados en diversos órganos. El sistema endocrino utiliza un método "postal" para producir y segregar las hormonas.

Las *hormonas* son mensajeros químicos que se vierten en el torrente sanguíneo y llegan de este modo a los órganos, donde regulan un gran número de funciones como la digestión, el metabolismo, la retención de líquidos y la cantidad de azúcar en la sangre. Algunas glándulas endocrinas particulares son la *tiroides*, las *paratiroides* (situadas en el cuello) y las *suprarrenales* (encima de los riñones). Los órganos que contienen agrupamientos de las células endocrinas son: el páncreas, los riñones, el hígado y la hipófisis (situada en la base del cerebro).

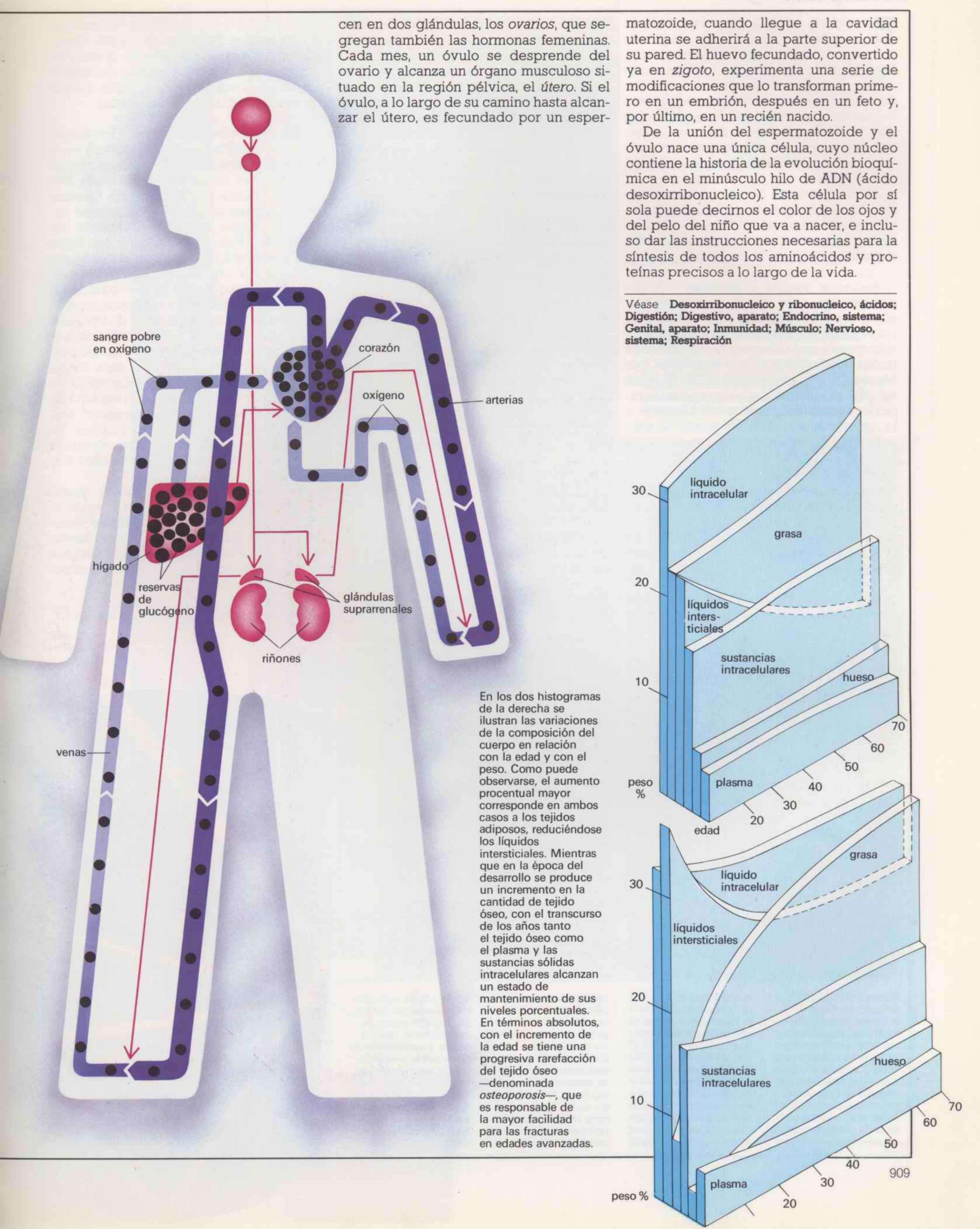
La reproducción: ciclo completo Las células sexuales, origen de toda esta refinada máquina que es el cuerpo humano, se producen en las *gónadas* y aseguran la continuidad de la especie humana. En el varón, las células sexuales o *espermatozoides* son producidas por dos glándulas denominadas *testículos*, que sintetizan también las hormonas masculinas. Dado que los espermatozoides sólo pueden ser producidos por debajo de la temperatura corporal, los testículos se encuentran dentro de una bolsa situada bajo la región pélvica. En la mujer, las células sexuales se llaman *óvulos* o células huevo y se produ-

El cuerpo humano es una estructura muy compleja, cuyo funcionamiento está asegurado por la intervención coordinada e integrada de numerosos sistemas. Uno de los principios en que se basa nuestra propia capacidad para sobrevivir es el de la respuesta a los estímulos. En el esquema se ilustra la respuesta a un estímulo térmico: entran en juego el sistema neurovegetativo y el sistema endocrino. Una vez percibida la sensación de frío a través de los receptores epidérmicos, el descenso de la temperatura de la sangre hace comenzar el funcionamiento del hipotálamo. De este órgano parte un impulso que alcanza las glándulas suprarrenales, las cuales segregan adrenalina. El efecto que deriva de este hecho es una contracción de los vasos superficiales con objeto de disminuir las pérdidas de calor. Los riñones son estimulados a una mayor filtración que aumenta la densidad de la sangre y por lo tanto la disponibilidad de oxígeno, esencial para la producción de energía calorífica en los tejidos. Al mismo tiempo, el hipotálamo estimula la hipófisis, que produce una cierta cantidad de hormona tireotrópica, capaz de favorecer la secreción de tiroxina por la glándula tiroides. Esta secreción acelera el proceso de oxigenación: el hígado moviliza sus propias reservas de glucógeno, obteniendo la glucosa necesaria como combustible energético. Finalmente, el corazón incrementa su frecuencia de latidos para permitir una distribución más eficiente de sangre oxigenada a los tejidos, aumentando la disponibilidad energética y calorífica.

cen en dos glándulas, los *ovarios*, que segregan también las hormonas femeninas. Cada mes, un óvulo se desprende del ovario y alcanza un órgano musculoso situado en la región pélvica, el *útero*. Si el óvulo, a lo largo de su camino hasta alcanzar el útero, es fecundado por un espermatozoide, cuando llegue a la cavidad uterina se adherirá a la parte superior de su pared. El huevo fecundado, convertido ya en *zigoto*, experimenta una serie de modificaciones que lo transforman primero en un embrión, después en un feto y, por último, en un recién nacido.

De la unión del espermatozoide y el óvulo nace una única célula, cuyo núcleo contiene la historia de la evolución bioquímica en el minúsculo hilo de ADN (ácido desoxirribonucleico). Esta célula por sí sola puede decirnos el color de los ojos y del pelo del niño que va a nacer, e incluso dar las instrucciones necesarias para la síntesis de todos los aminoácidos y proteínas precisos a lo largo de la vida.

Véase **Desoxirribonucleico y ribonucleico, ácidos; Digestión; Digestivo, aparato; Endocrino, sistema; Genital, aparato; Inmunidad; Músculo; Nervioso, sistema; Respiración**



En los dos histogramas de la derecha se ilustran las variaciones de la composición del cuerpo en relación con la edad y con el peso. Como puede observarse, el aumento procentual mayor corresponde en ambos casos a los tejidos adiposos, reduciéndose los líquidos intersticiales. Mientras que en la época del desarrollo se produce un incremento en la cantidad de tejido óseo, con el transcurso de los años tanto el tejido óseo como el plasma y las sustancias sólidas intracelulares alcanzan un estado de mantenimiento de sus niveles porcentuales. En términos absolutos, con el incremento de la edad se tiene una progresiva rarefacción del tejido óseo —denominada *osteoporosis*—, que es responsable de la mayor facilidad para las fracturas en edades avanzadas.

Cuerpo negro

El color de un objeto es el resultado de la reflexión de una parte de las radiaciones luminosas que inciden sobre él. Dependiendo de la longitud de onda que refleje, el objeto se verá de un color u otro. En los casos extremos una superficie perfectamente blanca reflejaría toda la luz que incidiera sobre ella, y por el contrario, un cuerpo se mostraría totalmente negro cuando absorbiera toda la radiación que le llega.

En la Naturaleza no es posible encontrar objetos de estas características; la nieve o el más negro hollín difieren considerablemente del comportamiento de estas superficies, por tanto, ideales.

Radiación visible e invisible A comienzos del siglo XIX ya se conocía que el espectro de radiación solar se extendía más allá de la luz visible, en las zonas del infrarrojo y del ultravioleta. La teoría de ondas electromagnéticas enunciada por Maxwell y los experimentos de H. Hertz en 1888 demostraron que las ondas de radio, la radiación calorífica del infrarrojo y la luz visible son distintas partes de este espectro de radiación. Un cuerpo negro ideal puede definirse como aquél capaz de absorber no sólo la luz visible, sino también el resto del espectro.

El poder emisor de una superficie es proporcional a su poder absorbente; el cuerpo negro, por esta razón, además de ser el absorbente perfecto es también el emisor ideal. La distribución de energía para cada longitud de onda (*distribución espectral*) emitida por él se conoce como *ley de radiación del cuerpo negro*, y aunque en rigor sólo puede aplicarse a una superficie negra ideal, describe también de forma aproximada la emisión de los cuerpos reales.

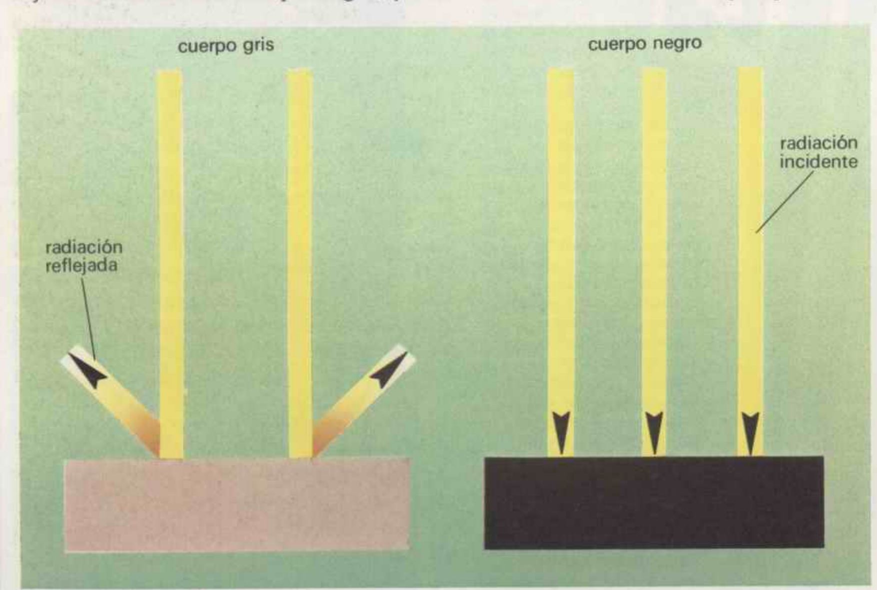
Un método ingenioso permitió en 1895 construir una superficie cuyo comportamiento radiactivo era equivalente al del cuerpo negro ideal. Esto hizo posible comprobar experimentalmente dos importantes leyes de radiación calculadas teóricamente. La primera, deducida por J. Stefan y L. Boltzmann, establece la proporcionalidad entre la energía emitida por un objeto y la cuarta potencia de su temperatura absoluta. Es decir, cuando la temperatura se hace 10 veces mayor, la energía total emitida por el objeto es 10.000 veces superior.

La segunda ley fue encontrada por W. Wien en 1893, y establece matemáticamente que, para cada temperatura, la longitud de onda de máxima emisión es distinta, de forma que a medida que la temperatura del cuerpo aumenta, la intensidad máxima tiene lugar a longitudes de onda más cortas (*ley del desplazamiento de Wien*). Este hecho puede visualizarse fácilmente calentando una barra de hierro. En una primera fase no cambia de color, pero si acercamos la mano notaremos una sensación de calor debida a que las longitudes de onda de la radiación emitida portadoras de calor son todavía demasiado largas para ser visibles, encontrándose en la región del espectro conocida como *infrarrojo*. Si continuamos calentando, llegará un momento en que la barra tomará el color rojo. De acuerdo con la ley de Wien, esto sucede porque a esta temperatura el máximo de emisión se encuentra ya dentro de la banda visible. Continuando con el aporte de calor, la barra va tomando los sucesivos colores del espectro, desplazándose hacia la zona violeta, de longitudes de onda más cortas.

Una revolución en la Física Las dos leyes mencionadas podían deducirse de la teoría de Maxwell y de los principios bien establecidos en la Física del siglo XIX, pero no daban una explicación correcta de las curvas de emisión del cuerpo negro obtenidas experimentalmente. En 1900, Max Planck, estudiando las leyes que rigen esta radiación, se vio obligado a abandonar una de las ideas fundamentales de la teoría clásica, provocando un auténtico cataclismo en el mundo científico. Planck, con una gran dosis de intuición, consiguió encontrar una formulación matemática que respondía de manera precisa al espectro observado, pero exigía suponer que la emisión y absorción de energía por los cuerpos no se realizaba de forma continua sino en "paquetes" elementales que él denominó *cuantos*. En otras palabras, la energía, lo mismo que la materia, debía poseer una naturaleza discontinua.

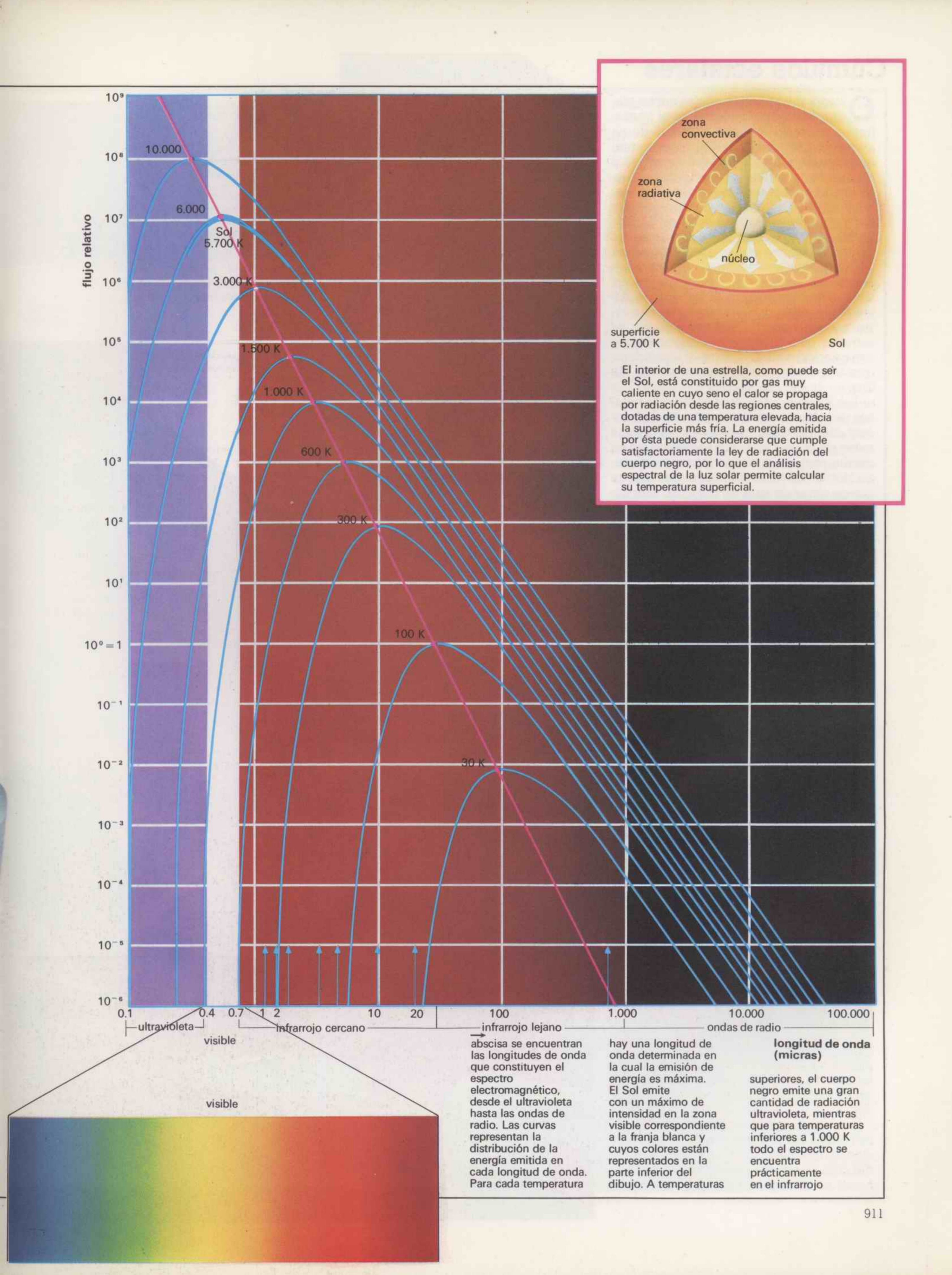
El nuevo concepto de Planck quedó universalmente aceptado con la explicación que dio A. Einstein del efecto fotoeléctrico, siendo desde entonces el fundamento de la Física moderna y la base para el desarrollo de las teorías sobre la constitución de la materia.

Véase **Electromagnetismo; Mecánica cuántica**





Todos los objetos reflejan, en mayor o menor proporción, parte de la radiación recibida. En Física es de gran utilidad considerar una superficie ideal que absorba toda la radiación que incida sobre ella, a la que se le da el nombre de *cuerpo negro*. Dada la imposibilidad de encontrarlo en la Naturaleza, puede construirse mediante una cavidad con paredes muy absorbentes e interiormente ennegrecida, donde se ha practicado un orificio (derecha). Cualquier rayo que penetre en su interior sufrirá una serie de reflexiones hasta ser absorbido prácticamente en su totalidad. Sobre estas líneas, esquemas en los que se aprecia que la radiación reflejada por un cuerpo negro es nula, mientras que en un cuerpo gris, aunque pequeña, existe. En la página siguiente, representación gráfica de la distribución de radiación del cuerpo negro. La dependencia de la energía emitida con la temperatura es tan fuerte que se hace necesario utilizar en el eje de ordenadas una escala que crece con un factor de diez por cada división. En →



El interior de una estrella, como puede ser el Sol, está constituido por gas muy caliente en cuyo seno el calor se propaga por radiación desde las regiones centrales, dotadas de una temperatura elevada, hacia la superficie más fría. La energía emitida por ésta puede considerarse que cumple satisfactoriamente la ley de radiación del cuerpo negro, por lo que el análisis espectral de la luz solar permite calcular su temperatura superficial.

→ abscisa se encuentran las longitudes de onda que constituyen el espectro electromagnético, desde el ultravioleta hasta las ondas de radio. Las curvas representan la distribución de la energía emitida en cada longitud de onda. Para cada temperatura hay una longitud de onda determinada en la cual la emisión de energía es máxima. El Sol emite con un máximo de intensidad en la zona visible correspondiente a la franja blanca y cuyos colores están representados en la parte inferior del dibujo. A temperaturas superiores, el cuerpo negro emite una gran cantidad de radiación ultravioleta, mientras que para temperaturas inferiores a 1.000 K todo el espectro se encuentra prácticamente en el infrarrojo

Cúmulos estelares

Observando el cielo en una noche clara de otoño o invierno en el hemisferio septentrional y con la ayuda de un mapa astronómico (planisferio), se puede localizar un grupo de seis o siete estrellas resplandecientes de excepcional belleza. Este grupo de estrellas, parte de la constelación de Tauro, se conoce desde los tiempos antiguos con el nombre de Pléyades (Safo, famosa poetisa griega, las nombraba en sus versos hace 2.500 años). También es llamado grupo de las Siete Hermanas, porque en la mitología griega estas estrellas eran las siete hijas de Atlas, el gigante que soportaba el Mundo sobre sus espaldas. En realidad son seis las estrellas que dominan el grupo, aunque los griegos contaron siete al considerar que una desapareció tras la guerra de Troya.

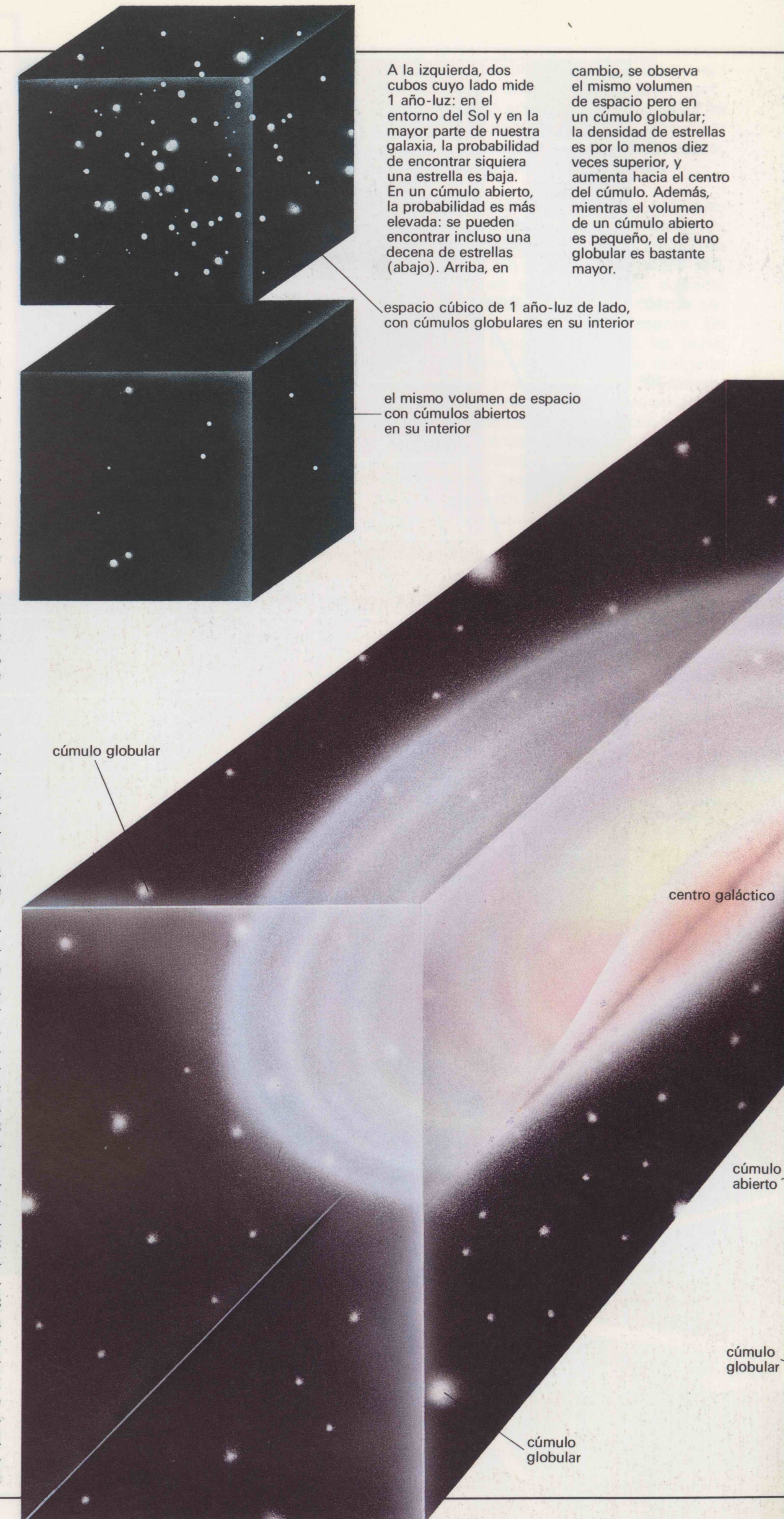
Las Pléyades son el ejemplo más notable de *cúmulo estelar*, un tipo de agrupación de estrellas nacidas de la misma nube de polvo, aproximadamente en el mismo período y que se mueven en grupo por el Universo. Con un telescopio se puede observar que, en realidad, este cúmulo está compuesto por muchísimas estrellas de diferente luminosidad (las más luminosas lo son centenares de miles de veces más que las estrellas más débiles, y tal vez 1.000 veces más luminosas que el Sol).

Cúmulos abiertos Cuando los astrónomos hablan de cúmulos estelares, normalmente se refieren a los cúmulos presentes en nuestra galaxia. Los cúmulos son de dos tipos: *cúmulos abiertos* —o dispersos— y *cúmulos globulares*. A los primeros también se les llamaba *cúmulos galácticos*, pero en realidad ambos tipos están asociados a la galaxia, por ello se prefiere usar el término *abiertos*.

Los cúmulos abiertos, que normalmente no tienen una forma simétrica, están situados en el plano principal, como si de una lente se tratara, de la galaxia. Si bien sólo pocas decenas de cúmulos son visibles a simple vista, los astrónomos han distinguido y estudiado más de un millar. Existe la convicción de que en nuestra galaxia hay muchos más, escondidos entre los cientos de millones de estrellas o en las profundidades de las inmensas nubes de polvo interestelar existentes en el espacio.

Los cúmulos abiertos han sido observados a distancias comprendidas entre 40 y 5.000 parsecs (el *parsec* es la unidad usada por los astrónomos para medir las enormes distancias del espacio, y equivale a 3,262 años-luz o a 30,86 billones de kilómetros). El diámetro de los cúmulos puede variar entre 2 y 15 parsecs. Están formados por un número de estrellas que oscila entre 100 y 2.000, por término medio.

Las estrellas difieren marcadamente de un cúmulo a otro. Estas diferencias proporcionan importantes indicios sobre la edad del cúmulo, ya que las estrellas más luminosas se extinguen más deprisa que las



A la izquierda, dos cubos cuyo lado mide 1 año-luz: en el entorno del Sol y en la mayor parte de nuestra galaxia, la probabilidad de encontrar siquiera una estrella es baja. En un cúmulo abierto, la probabilidad es más elevada: se pueden encontrar incluso una decena de estrellas (abajo). Arriba, en cambio, se observa el mismo volumen de espacio pero en un cúmulo globular; la densidad de estrellas es por lo menos diez veces superior, y aumenta hacia el centro del cúmulo. Además, mientras el volumen de un cúmulo abierto es pequeño, el de uno globular es bastante mayor.





A la izquierda, el aspecto típico de un cúmulo abierto y, a la derecha, el de uno globular. El primero se encuentra disperso entre las estrellas de nuestra galaxia (imagen inferior, en el centro); el segundo, en su periferia y hasta una distancia superior incluso al diámetro galáctico.

cúmulo globular
cúmulo globular
cúmulo abierto
cúmulo globular
plano ecuatorial de la galaxia
cúmulo globular

menos luminosas. En el grupo de las Pléyades, por ejemplo, las más luminosas pertenecen a la clase B del espectro, lo que significa que son estrellas grandes de color blanco azulado, con una temperatura superficial de unos 23.000 K y de edad, por tanto, relativamente jóvenes: sólo 70 millones de años. En los cúmulos llamados Híades (de la constelación de Tauro) y Pesebre, las estrellas más luminosas son de las clases G y M; las primeras son estrellas amarillas con una temperatura en la superficie que puede alcanzar los 6.000 K, y las segundas, estrellas rojas con temperaturas superficiales relativamente bajas, no superiores a 3.000 K. Estos cúmulos son considerados más antiguos.

¿Cómo consiguen los astrónomos distinguir, entre los varios grupos de estrellas, cuáles constituyen un cúmulo propiamente dicho y cuáles están simplemente formados por estrellas sin relación la una con la otra, pero que, vistas desde la Tierra, aparecen en la misma línea visual? Primero calculan la *velocidad radial* de cada estrella, que es la velocidad con que la estrella se acerca o se aleja de la Tierra. Dicho cálculo se realiza generalmente mediante procesos espectroscópicos, consistentes en observar el desplazamiento de las líneas espectrales (o, lo que es lo mismo, de sus longitudes de onda identifica-

En nuestra galaxia se han localizado poco más de cien cúmulos globulares, situados la mitad sobre y la mitad bajo el denso plano central, en la zona aproximadamente esférica de la galaxia. Además, los telescopios permiten verlos —y en gran cantidad— alrededor de las galaxias vecinas. Debajo de estas líneas, como ejemplo, se ve la región periférica de la galaxia M 87 del gran cúmulo de Virgo. Las flechas señalan los más visibles de los casi 4.000 cúmulos globulares, que se disponen en forma de halo alrededor de este colosal agregado de cuerpos celestes. Todas las estrellas de los cúmulos globulares tienen forma simétrica y redondeada: estos datos hacen suponer que se trata de astros muy viejos.



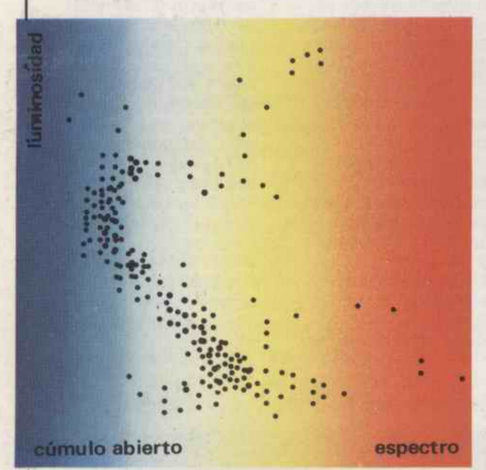
doras) sobre el fondo coloreado de su espectro, bien hacia el extremo rojo o bien hacia el violeta. Este fenómeno, conocido como *efecto Doppler*, es consecuencia del movimiento relativo de la fuente emisora, la estrella en nuestro caso, en la dirección de la línea visual del observador. Este dato —la velocidad radial— se considera en conjunto con otro relativo al tipo de movimiento, que se llama *velocidad tangencial* o *movimiento propio* de una estrella, es decir, el segmento de arco que recorre la estrella en determinado período. Ambos valores se consideran luego como las coordenadas perpendiculares de un rectángulo; la diagonal del rectángulo da el valor de la velocidad real del movimiento de la estrella en el espacio. Calculado este dato para cada una de las estrellas consideradas, estará claro cuáles de ellas pertenecen al mismo cúmulo estelar, dado que se mueven en la misma dirección y, aproximadamente, a la misma velocidad. Los cúmulos abiertos más jóvenes están compuestos por estrellas nacidas hace más o menos un millón de años (que es muy poco en un Universo que tiene de 15 a 20 mil millones de años). Los cúmulos abiertos más viejos tienen unos 5.000 millones de años.

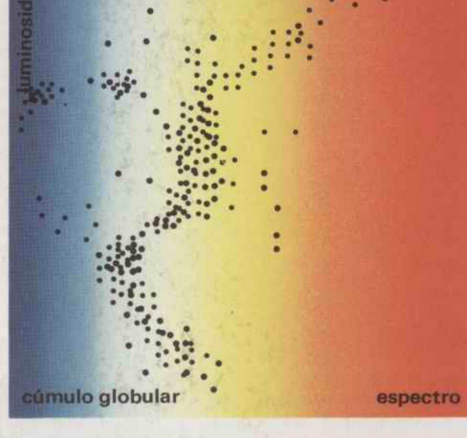


Cúmulos globulares Los cúmulos globulares se denominan de este modo porque, en vez de estar formados por un conjunto asimétrico de estrellas no claramente unidas —como ocurre con los cúmulos abiertos, que aparecen por ello como dispersos en el cielo, y en forma de una esfera luminosa punteada—, están constituidos por un denso y numeroso agrupamiento de estrellas de forma casi esférica. En nuestra galaxia se han localizado poco más de cien cúmulos globulares; éstos no se hallan situados en el plano principal y más denso de la galaxia, sino en la zona aproximadamente esférica situada la mitad encima y la mitad debajo del plano principal. Se piensa que existe otro centenar de ellos que, por su posición, no pueden verse desde la Tierra.

Hemos visto que los cúmulos abiertos pueden estar constituidos por un número de estrellas que puede variar desde algunas decenas a varios millares; los cúmulos globulares, en cambio, están constituidos por un número mucho mayor de estrellas: de 200.000 a 300.000. Los cúmulos globulares pueden medir de 20 a 190 parsecs de diámetro.

La densidad con que las estrellas se agrupan en el centro de un cúmulo globular es muy superior a la que puede encontrarse en un cúmulo abierto. En el interior de uno de estos últimos, y en el espacio de 10 parsecs cúbicos (1 parsec cúbico es un cubo de espacio con una arista de 30,86 billones de kilómetros), se puede encontrar incluso una sola estrella, mientras que en el centro de los cúmulos globulares se halla una media de 50 estrellas por parsec cúbico (o sea, 500 veces más que en uno abierto).



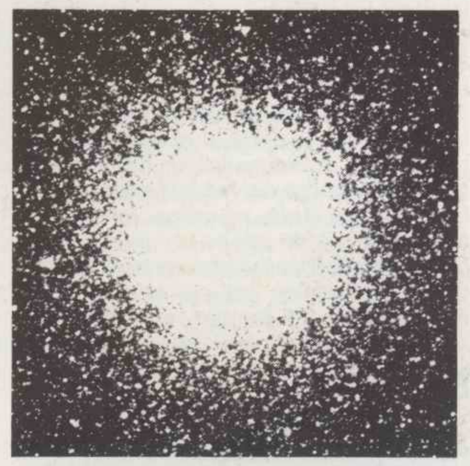


Son raros los casos de cúmulos abiertos en los cuales las estrellas no se encuentran envueltas en un velo de gas y polvillo. Gas y polvo interestelar son las formas bajo las que aparece la materia en su estado más simple, y a partir de las cuales, mediante condensación, se han formado las estrellas. Si se observa el modo en que éstas se hallan dispuestas a lo largo de la secuencia principal del diagrama de Hertzprung Russell, se nota que se trata, en su mayoría, de astros jóvenes y muy luminosos en sentido absoluto (arriba, a la izquierda). De hecho, en el caso de estrellas recién nacidas, es normal que muchas sean bastante luminosas y que todas resplandezcan con luz azul, señal de una alta temperatura superficial. Además, en el caso de cúmulos formados por estrellas muy jóvenes, se observa a menudo que el gas y el polvo son tan abundantes que el proceso de formación estelar continúa sin interrupción. En todos estos casos la edad de las estrellas está, por término medio, muy por debajo de los mil millones de años y las más jóvenes pueden estar incluso en proceso de formación. Arriba, a la derecha, un diagrama de Hertzprung-Russell para estrellas de un cúmulo globular. Se trata de astros de débil luminosidad superficial, rojos y viejos, es decir, estrellas seguramente nacidas y evolucionadas hace muchos miles de millones de años (hasta hace unos diez mil millones de años, poco menos que la llamada edad de Hubble o edad del Universo). Además, el espectro de estas estrellas muestra que están constituidas por los mismos elementos que formaban la materia primordial del Universo, enriquecida sólo con aquellos otros elementos que las estrellas pueden sintetizar en sus propios núcleos mediante las reacciones termonucleares. Por el contrario, en las estrellas de las asociaciones abiertas (como las bellísimas Pléyades, arriba) se observan restos de materia "reciclada" en las propias estrellas y de explosiones de supernovas. En estos sucesos catastróficos, muchos elementos se sintetizan a gran velocidad y se dispersan por todo el espacio.

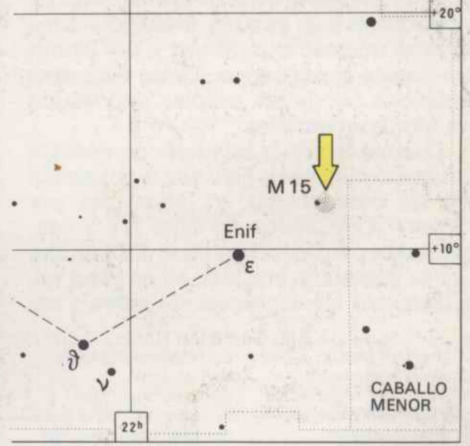
Los cúmulos globulares están situados en las zonas más lejanas de nuestra galaxia y, principalmente, en la dirección de la constelación de Sagitario. Se requieren medidas y cálculos muy complejos para poder medir, aunque sólo sea de forma aproximada, sus distancias al centro de la galaxia. Uno de los cúmulos más próximos, Omega Centauro, dista unos 4.800 parsecs (16.000 años-luz). Los más lejanos, en las constelaciones del León y del Sextante, están seis veces más distantes. Se mueven aproximadamente a una velocidad de 350 kilómetros por segundo. También los hay intergalácticos, a una distancia de 100.000 parsecs.

La mayor parte de nuestra información sobre cúmulos estelares proviene del estudio de los cúmulos abiertos y globulares de nuestra galaxia; sin embargo, se han observado sistemas de cúmulos similares en más de una docena de galaxias lejanas. Tanto cúmulos abiertos como globulares han sido localizados en las galaxias más cercanas a la Vía Láctea: la Gran Nube de Magallanes, la Pequeña Nube de Magallanes y la M 31, situada a una distancia de 2 millones de años-luz (para obtener la distancia en kilómetros hay que multiplicar 2 millones por 9,5 billones). En las proximidades de la galaxia M 87 del gran cúmulo de Virgo se han observado hasta 4.000 cúmulos globulares.

Arriba, una tabla de clasificación de los cúmulos abiertos. En el interior de cada círculo está representada la disposición típica de las estrellas correspondiente a la categoría cuya sigla aparece al lado, a la derecha. En la parte superior se encuentran los cúmulos más ricos de estrellas; a medida que descendemos, la riqueza disminuye. En cambio, desde la columna de la izquierda a la de la derecha se reduce la concentración, o sea, el aglutinamiento de estrellas hacia el centro. Estos diagramas explican por qué conocemos solamente un número bastante limitado de cúmulos abiertos en comparación con todos los que deben existir en nuestra galaxia: la causa se debe al hecho de que las estrellas de los cúmulos se proyectan sobre el fondo punteado de las numerosísimas estrellas de la Vía Láctea; a medida que se buscan cúmulos más distantes es más fácil confundirlos con el fondo galáctico, es decir, los cúmulos más alejados se confunden a nuestra observación con los aglutinamientos casuales.



En el centro de un cúmulo globular la concentración de estrellas es enormemente superior tanto a la de la periferia como a la del fondo galáctico. Eso significa que las estrellas deben hallarse muy próximas unas a otras, y, por tanto, sometidas a muy complejos campos de fuerza gravitacional, lo que impide establecer sus leyes de movimiento, por lo que ha de recurrirse a cálculos de carácter aleatorio o estadístico. Si en el centro de uno de estos cúmulos hubiera un agujero negro, la probabilidad de que absorbiese estrellas vecinas sería elevada; en este caso, la masa del astro podría crecer continuamente. Así, el agujero negro que está formado solamente por diez masas solares podría gradualmente alcanzar cientos o miles de veces su masa inicial. Una masa tan concentrada tendría en torno a sí una concentración estelar muy pequeña, habiendo literalmente "despoblado" su entorno. Un posible candidato a contener en su interior un agujero negro podría ser el cúmulo globular M 15.



Véase **Astronomía; Cosmología; Espectro estelar; Galaxia**

Curvas y superficies

Diferentes culturas antiguas —Egipto o Babilonia por ejemplo— poseían ya un apreciable conocimiento geométrico que incluía, naturalmente, bastantes ideas sobre curvas y superficies. Sin embargo, dicho saber era un tanto intuitivo y empírico. Es en Grecia, creadora de la matemática en general y de la geometría muy especialmente, donde se ve a las curvas y superficies como entes ideales, sometidos al imperio de la razón e independientes del de la experiencia. Para los geómetras griegos, las líneas curvas, como las rectas, carecían de espesor o tenían, como diríamos hoy, dimensión uno. El tipo básico de curva era la que por ellos, y aún por nosotros, se denomina "un lugar geométrico", es decir, el conjunto de los puntos tales que ellos y sólo ellos cumplen una determinada propiedad. Por ejemplo, la circunferencia (con palabras actuales que, casi, reproducen las de los *Elementos* de Euclides) "es el lugar de los puntos del plano que distan una cantidad constante de un punto fijo." Por otra parte, los puntos eran no sólo inmateriales sino sin dimensiones, existentes sólo en la mente humana (o en el reino de las ideas platónicas).

Los griegos clasificaban las curvas en tres tipos distintos: los llamados *lugares planos*, que incluían las rectas y las circunferencias; los *lugares espaciales*, que incluían las secciones cónicas (elipses, hipérbolas y parábolas) que concebían por su relación con el cono de revolución, con preferencia a su posible definición como lugares geométricos planos; y, por último, las demás *líneas curvas*. Todas ellas eran definidas por leyes simples expresadas en términos verbales.

Durante siglos la sabiduría geométrica progresó bien poco. Sólo con la utilización de las coordenadas, ya apuntadas por Oresme a mediados del siglo XIV y consagradas por Descartes en el XVII, al fundar la geométria analítica, se amplían notablemente los conceptos de curva y superficie. Al hacer corresponderse de modo biunívoco puntos del plano o del espacio con pares o ternas, respectivamente, de números —sus coordenadas— se hace posible asociar a cada curva o superficie su ecuación matemática. Es más, queda abierta la posibilidad de evidenciar la naturaleza algebraica o analítica de las mismas al no "distinguirlas" de sus ecuaciones. Por otro lado, las posibilidades se diversifican enormemente: se pueden definir nuevas curvas —nunca soñadas por el genio griego e inaccesibles al método geométrico elemental— sin más que escribir ecuaciones. El desarrollo de la Geometría analítica y el Cálculo infinitesimal permitió ir ampliando el elenco de curvas y superficies: primero las algebraicas, luego las transcendentes elementales, más tarde las definidas por ecuaciones diferenciales, etc. Claro que, como siempre pasa, también fueron apareciendo problemas y dudas, y los conceptos intuitivos y simples tuvieron que dejar paso a otros más sofisticados.

Métodos y problemas de la Teoría de curvas Una curva puede definirse y estudiarse de un modo geométrico *sintético*, es decir, sin recurrir a sistemas coordenados ni a ecuaciones. Así, por ejemplo, rectas, circunferencias y cónicas (elipses, parábolas e hipérbolas) han sido estudiadas exhaustivamente, durante más de dos milenios, desde diferentes puntos de vista, y dado origen a una abundante bibliografía. Sin embargo, pocas más curvas admiten fácilmente un tratamiento profundo con dicho método. Por ello se recurre al método *analítico*, es decir, al que asocia a los puntos sus coordenadas en un sistema apropiado, y a las curvas, sus expresiones analíticas. Lo cierto es, entonces, que no se sabe muy bien qué es la curva: si su figura (trazada por los puntos cuyas coordenadas cumplen las correspondientes relaciones) o las propias ecuaciones. Y, verdaderamente, se opta las más de las veces por estas últimas. Ello sin perjuicio de que puedan combinarse, según convenga, los métodos analíticos con los sintéticos.

Para la Geometría analítica resulta, pues, que las rectas *son* ecuaciones lineales en las variables x e y (sólo una si se trata del caso plano, dos si del espacial) y que circunferencias y cónicas en general *son*, simplemente, ecuaciones de segundo grado entre x e y. Enseguida se advirtió que podían "inventarse" *cúbicas*, *cuárticas*, etc., sin más que plantearse ecuaciones algebraicas de tercero, cuarto o superior grado. Y, tras los primeros tiempos, echando mano del Análisis, en vez del Algebra, de curvas transcendentes de todo tipo. Las formas en que esto último puede realizarse son varias: en primer lugar, pueden utilizarse expresiones *explícitas*; por ejemplo, la función $y = f(x)$, siendo f una función continua de un intervalo, o de toda la recta real, en $\mathbb{R}$ corresponde a una curva que pasa por los puntos del plano de coordenadas $(x, f(x))$. Naturalmente, en el espacio sería necesario una pareja de funciones $y = f(x)$, $z = g(x)$, y los puntos de la curva serían los $(x, f(x), g(x))$.

Se pueden ampliar notablemente las posibilidades de definición si se admite que la curva se dé *implícitamente*. Por ejemplo, mediante una ecuación de la forma $F(x, y) = 0$; entonces los puntos de coordenadas (x, y) que satisfagan idénticamente la ecuación serán los de la curva. Naturalmente que, en este caso, F debe cumplir, entre otras restricciones, como la de continuidad, la de que existan dichas soluciones. Por ejemplo, si se tienen las dos ecuaciones siguientes

$$x^2 + y^2 = 1$$
$$x^2 + y^2 = -1$$

la primera representa una circunferencia de radio unidad, con centro el origen de coordenadas del plano (dando por supuesto que éstas son rectangulares), ya que $(x^2 + y^2)$ representa el cuadrado de la distancia del punto (x, y) a dicho centro. Por el contrario, la segunda no representa (si x e y son números reales) nada, ya que no hay dos números positivos, x^2 e y^2, cuya suma sea -1.

Cabe otro método de dar una curva. Consiste en utilizar las ecuaciones llamadas *paramétricas*: se toma una variable independiente nueva, llamada *parámetro* y designada normalmente con t, θ u otra letra, y se expresan las coordenadas como funciones continuas suyas:

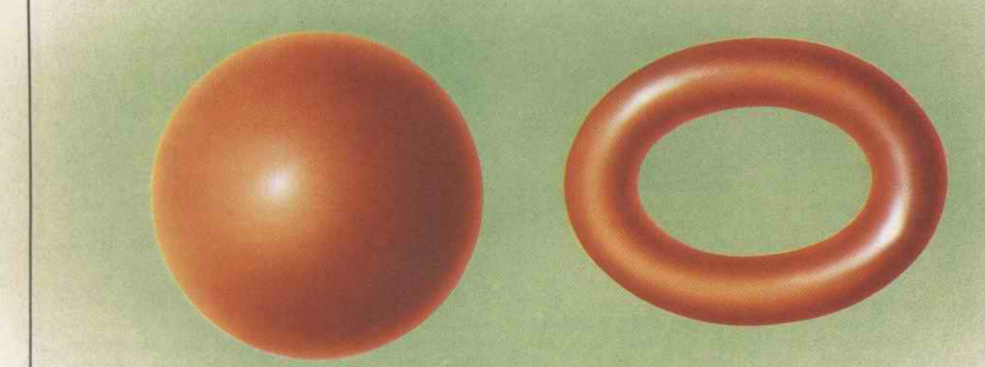
$$x = x(t) \qquad y = y(t) \qquad z = z(t)$$

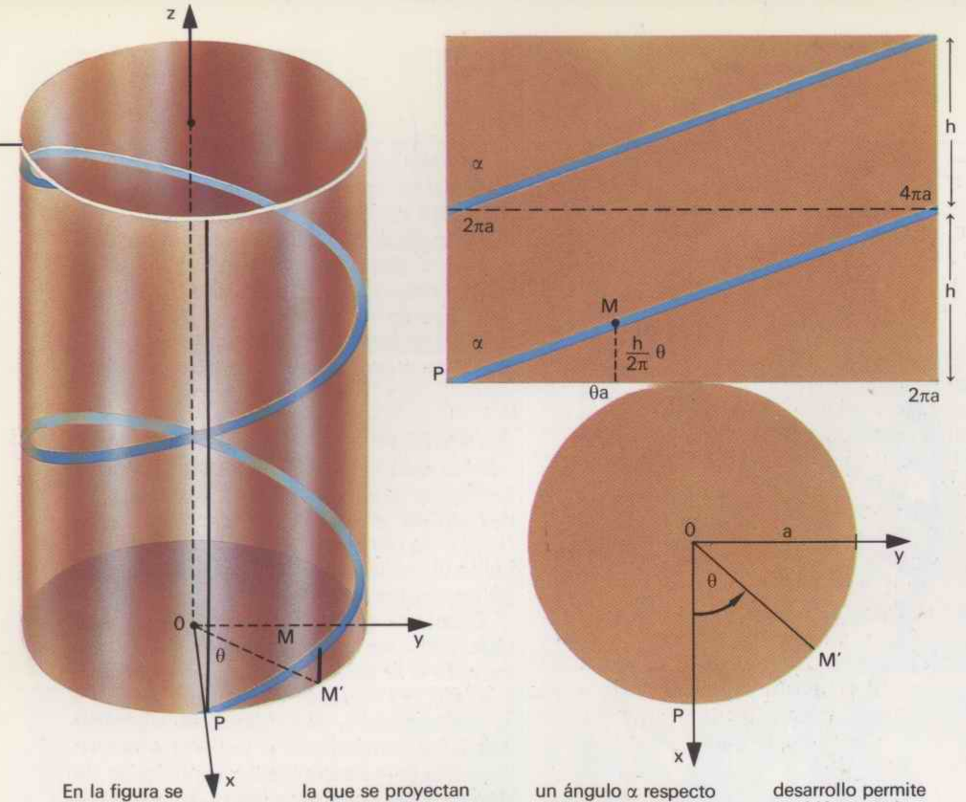
(con t tomando valores en un intervalo o en toda la recta real). Este sería el caso general de curvas del espacio no contenidas en un plano, las llamadas usualmente curvas *alabeadas*, ya que si se tratara de una plana: $z = 0$. Evidentemente, los casos anteriores se reducen a éste; por, ejemplo, si se da en forma explícita la curva alabeada $y = f(x)$, $z = g(x)$ bastará hacer

$$x = t \qquad y = f(t) \qquad z = g(t)$$

para ponerla en forma paramétrica.

Una *esfera* puede considerarse como la superficie engendrada por una *circunferencia* al girar alrededor de un diámetro; un *toro* se obtiene al girar la *circunferencia* en torno a un eje exterior a ella. El radio de la *esfera* coincide con el de la *circunferencia* que lo engendra; en el caso del *toro* (una rosquilla perfecta) hay dos radios, el exterior y el interior, cuya diferencia es el diámetro de la sección recta, coincidente con el de la circunferencia. Dichos radios son, por otra parte, los de giro de los extremos del diámetro de la circunferencia perpendicular al eje. Conviene señalar que, a pesar de su «parentesco», *esfera* y *toro* son topológicamente muy diferentes, no es posible transformar uno en otro por un homeomorfismo. Para un topólogo una rosquilla y un bollo suizo no se parecen





En la figura se representa una hélice circular, como la que se estudia en el texto. Puede apreciarse por una parte una sección recta del cilindro sobre la que se proyectan repetidamente las "vueltas" de la hélice y su transformación en segmentos de rectas paralelas (inclinadas un ángulo α respecto a las generatrices del cilindro, transformadas en verticales) cuando se hace el desarrollo del cilindro. Dicho desarrollo permite también apreciar fácilmente el modo de calcular la longitud de la hélice aplicando el teorema de Pitágoras.

Es frecuente en los textos geométricos actuales sustituir las dos o tres funciones que dan, en el plano o en el espacio, respectivamente, las coordenadas del punto de la curva, por una única función vectorial $\mathbf{r} = \mathbf{r}(t)$, siendo $\mathbf{r}$ el *vector de posición* del punto —es decir el vector con origen en el de coordenadas y extremo en el punto en consideración— que, naturalmente, tiene como componentes (x, y, z). Obviamente, puede entonces, ponerse:

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(t) = (x(t), y(t), z(t))$$

siendo z(t) idénticamente nula en el caso plano.

El parámetro puede, en algunos casos, tener una significación geométrica o, incluso, física interesante. Por ejemplo, si pensamos que t representa la variable tiempo, $(x(t), y(t), z(t))$ representará la posición variable de un punto móvil y puede imaginarse la curva como la trayectoria del mismo. Este punto de vista es interesante y liga, de modo natural, la geometría de curvas con la cinemática. No obstante, es preferible, en muchas ocasiones, utilizar parámetros con otras significaciones, como un ángulo o una distancia, y suele ser frecuente tomar como tal la longitud, designada habitualmente por s, de la curva recorrida a partir de un cierto punto (cosa que sólo es posible si la curva es rectificable, es decir, si, para ella, existe dicha longitud). Cabe, incluso, no atribuir al parámetro ninguna significación distinta de la de ser un punto de la recta o de un cierto segmento (o, lo que es lo mismo, de $\mathbb{R}$ o de uno de sus intervalos), en cuyo caso la terna de funciones $x(t)$, $y(t)$, $z(t)$ puede verse como las leyes que transforman dicho punto en el correspondiente de la curva. Un ejemplo aclarará lo que se quiere decir. Sea una curva alabeada muy conocida y sencilla: la *hélice circular* (o, simplemente *hélice*), definida de forma *sintética* como la curva que, sobre un cilindro de revolución, corta a las generatrices del mismo bajo un ángulo constante. Inmediatamente se advierte que si se desarrollase el cilindro la hélice se transformaría en una serie de paralelas que cortarían a las generatrices con ángulo constante (α por ejemplo). Tomando un sistema de coordenadas trirrectangular, con el origen O en un punto del eje del cilindro, Oz coincidiendo con el mismo y los ejes Ox y Oy situados en cualquier sección recta que pase por O, y teniendo el primero la misma dirección que OP (con P el punto de la hélice que corta a la citada sección) y Oy la perpendicular, se tendrá, si el radio del cilindro es a y el ángulo de corte α, que las coordenadas del punto (x, y, z) de la hélice son (ver figura):

$$x = a \cos\theta \quad y = a \operatorname{sen}\theta \quad z = \frac{h}{2\pi}\theta$$

siendo $h = 2\pi\, a \operatorname{ctg}\alpha$ el llamado *paso* de la hélice o distancia vertical entre dos puntos sucesivos de corte de la hélice con una misma generatriz. Obviamente, el parámetro θ representa el ángulo que va recorriendo la proyección del punto de la hélice sobre la circunferencia. Cabe también una interpretación cinemática, haciendo $\theta = \omega t$, siendo ω una velocidad angular constante y t el tiempo, que da las coordenadas como funciones temporales:

$$x = a \cos\omega t \quad y = a \operatorname{sen}\omega t \quad z = \frac{h}{2\pi}\omega t$$

y que permite considerar que la hélice es la trayectoria de un punto móvil que se mueve paralelamente al eje del cilindro con velocidad $\frac{h}{2\pi}\omega$ a la vez que gira alrededor de éste con velocidad angular constante ω (sería, por ejemplo, el caso de un mosquito que se moviese longitudinalmente por una generatriz del cilindro con velocidad constante v si el cilindro girara con velocidad angular constante ω, en cuyo caso $h = \frac{2\pi v}{\omega}$). También puede observarse que la longitud de hélice, contada a partir del punto en que corta al eje Ox, es, como se ve al hacer el desarrollo

$$s = \sqrt{a^2\theta^2 + \left(\frac{h}{2\pi}\right)^2\theta^2} = \sqrt{a^2 + \left(\frac{h}{2\pi}\right)^2}\,\theta$$

y que, por tanto, puede también ponerse:

$$x = a \cdot \cos\frac{s}{\sqrt{a^2 + \left(\frac{h}{2\pi}\right)^2}}$$

$$y = a \cdot \operatorname{sen}\frac{s}{\sqrt{a^2 + \left(\frac{h}{2\pi}\right)^2}}$$

$$z = \frac{h}{2\pi}\,\frac{s}{\sqrt{a^2 + \left(\frac{h}{2\pi}\right)^2}}$$

Por otra parte es fácil comprender que cabe utilizar, cuando las expresiones son

ALGUNAS PROPIEDADES DE LAS CURVAS

- Ecuación de una curva

$$\mathbf{r}(t) = (x(t), y(t), z(t))$$

- Vector tangente en el punto $\mathbf{r}_0 = \mathbf{r}(t_0)$

$$\dot{\mathbf{r}}(t_0) = (\dot{x}(t_0), \dot{y}(t_0), \dot{z}(t_0))$$

- Ecuación recta tangente en $\mathbf{r}_0$

$$\frac{x - x_0}{\dot{x}(t_0)} = \frac{y - y_0}{\dot{y}(t_0)} = \frac{z - z_0}{\dot{z}(t_0)}$$

- Longitud de curva entre $\mathbf{r}_0 = \mathbf{r}(t_0)$ y $\mathbf{r}_1 = \mathbf{r}(t_1)$

$$s(t_0, t_1) = \int_{t_0}^{t_1} \sqrt{[\dot{x}(t)]^2 + [\dot{y}(t)]^2 + [\dot{z}(t)]^2}\, dt$$

Notas.

La notación $\dot{f}$ significa: $\dot{f} = \frac{df}{dt}$

- Si el parámetro fuera la longitud s, el vector derivada $\frac{dr}{ds}$ tendría módulo unidad.
- La integral que da la longitud puede no existir y la curva no ser rectificable (es el caso de las curvas muy "irregulares" o "rugosas" cuya "longitud" supera cualquier cantidad).

simplemente algebraicas, sólo propiedades de este tipo. Un caso simple es el estudio de las cónicas utilizando las propiedades de las formas cuadráticas que las representan. Sin embargo, lo normal —y necesario si las funciones que definen la curva no son algebraicas— es tener que recurrir al Análisis matemático. Cabe, por otra parte, estudiar propiedades de tipo *local* de las curvas o de tipo *global*. Por ejemplo, es *local* el problema de trazar la tangente en un punto y es *global* el de establecer si es cerrada o abierta, es decir, si es transformada por una correspondencia biunívoca y bicontinua (es decir, si es homeomorfa) de un segmento de recta o de una circunferencia. Precisamente la aplicación de los métodos del Análisis al estudio de las propiedades locales constituye el objeto de la Geometría diferencial clásica.

La gama de problemas locales y globales a resolver es muy variada y difícil de exponer sin entrar en detalles técnicos. En la tabla adjunta se da un breve resumen de algunas de ellas. Normalmente la obtención de resultados más concretos (determinación de tangentes, longitudes, etc.) exige que las funciones cumplan unas condiciones de regularidad (por ejemplo, que sean derivables varias veces).

Otro matiz interesante es que cabe estudiar las propiedades de curvas (y también de superficies) de un modo que sea o no *intrínseco*: es decir, cabe usar como sistema de referencia elementos propios de la curva (o superficie) o, por el contrario, otros arbitrarios. Por ejemplo, si se estudian las propiedades de una curva plana en un punto utilizando como parámetro de las ecuaciones la longitud y como sistema de coordenadas el constituido por los vectores tangente y normal en ese punto, se estará haciendo de un modo intrínseco, mientras que no lo será si se utiliza un sistema de coordenadas arbitrario.

Métodos y problemas de la teoría de superficies Análogamente a como se estudian las curvas puede hacerse con las superficies en el espacio tridimensional. De modo sintético o analítico, intrínseco o no, se podrán investigar sus propiedades locales o globales. Natuaralmente que, en lo que respecta a su representación analítica cabrán, en este caso, también las tres posibilidades de formulación, explícita, implícita o paramétrica, respectivamente,

$$z = f(x, y)$$
$$F(x, y, z) = 0$$
$$x = x\,(u, v) \quad y = y\,(u, v) \quad z = z\,(u, v)$$

con las restricciones habituales de que las funciones sean continuas y, normalmente, derivables y los pares de coordenadas (x, y) o de parámetros (u, v) tomen valores en un subconjunto "sencillo" —por ejemplo un rectángulo— de $\mathbb{R}^2$.

Como se entiende fácilmente, en este caso como en el de las curvas, puede recurrirse a la notación vectorial y escribir: $\mathbf{r} = \mathbf{r}(u, v) = (x(u, v), y(u, v), z(u, v))$ y, por supuesto, dar diferentes significados a los parámetros u y v. Por ejemplo, si se usa la representación explícita se reducen a las coordenadas (x, y). Pero caben otras interpretaciones: por ejemplo si a u se le da una cualquiera y a v la de tiempo, resulta que la superficie puede *verse* como engendrada por una curva móvil (tal como una circunferencia que gira alrededor de su diámetro forma una esfera); también cabe imaginarse la superficie $\mathbf{r}(u, v)$ como una infinidad de curvas, una para cada valor posible de v, en las que u es el parámetro. Puede, por otra parte, pensarse que lo que hace la función vectorial $\mathbf{r}(u, v)$ es transformar la región plana en la que toma valores (u, v) en la superficie del espacio representada por ella.

Las anteriores consideraciones admiten interpretaciones recíprocas. En efecto: siempre cabe imaginarse (de infinitas maneras) que una curva está dada por la intersección de dos superficies; por ejemplo las secciones cónicas clásicas.

Debe observarse, por otra parte, que en el caso de superficies las peculiaridades de las funciones que las definen pueden hacer aparecer notables complejidades (algunas sorprendentes o monstruosas). Por ejemplo, no sólo existen superficies abiertas y cerradas, como el plano y la esfera, respectivamente, análogamente a lo que sucede con las curvas, sino que puede darse el caso de que las haya abiertas con una sola cara o cerradas sin que se pueda distinguir el interior del exterior (como la banda de Mœbius y la botella de Klein por ejemplo). O, en otro orden de ideas, lo mismo que hay curvas *sin longitud* puede haber también superficies tan "rugosas" que no tengan área.

Las propiedades, tanto locales como globales, de las superficies son mucho más variadas y complicadas que las de las curvas; de ellas se da un breve muestrario en la tabla adjunta.

Cabe señalar que la geometría intrínseca de superficies —que tuvo un gran avance en el siglo pasado por obra de matemáticos como Gauss (1777-1855)— no sólo tiene interesantes relaciones y apli-



Hay superficies abiertas con una sola cara: por ejemplo, la banda de Moebius, que puede construirse con una tira rectangular de papel cuando se retuerce y se pegan dos lados paralelos. La banda de Moebius tiene una cara única y también un solo borde. Sobre ella el vector normal en un punto acaba convirtiéndose en su opuesto al irse desplazando por la superficie, lo mismo que la hormiga ideada por el genial pintor holandés Escher (*Moebius Strip II*, 1963)

ALGUNAS PROPIEDADES DE LAS SUPERFICIES

- Ecuación de una superficie

$$\mathbf{r}(u, v) = (x(u, v), y(u, v), z(u, v))$$

- Vector normal en el punto $\mathbf{r}_0 = \mathbf{r}(u_0, v_0)$

$$\mathbf{n}(u_0, v_0) = (J_1(u_0, v_0), J_2(u_0, v_0), J_3(u_0, v_0))$$

- Plano tangente en el punto r_0

$$J_1(u_0, v_0)(x - x_0) + J_2(u_0, v_0)(y - y_0) + J_3(u_0, v_0)(z - z_0) = 0$$

- Area de la superficie correspondiente al dominio D de las variables (u, v)

$$A(D) = \int_D \sqrt{[J_1(u, v)]^2 + [J_2(u, v)]^2 + [J_3(u, v)]^2}\, du\, dv$$

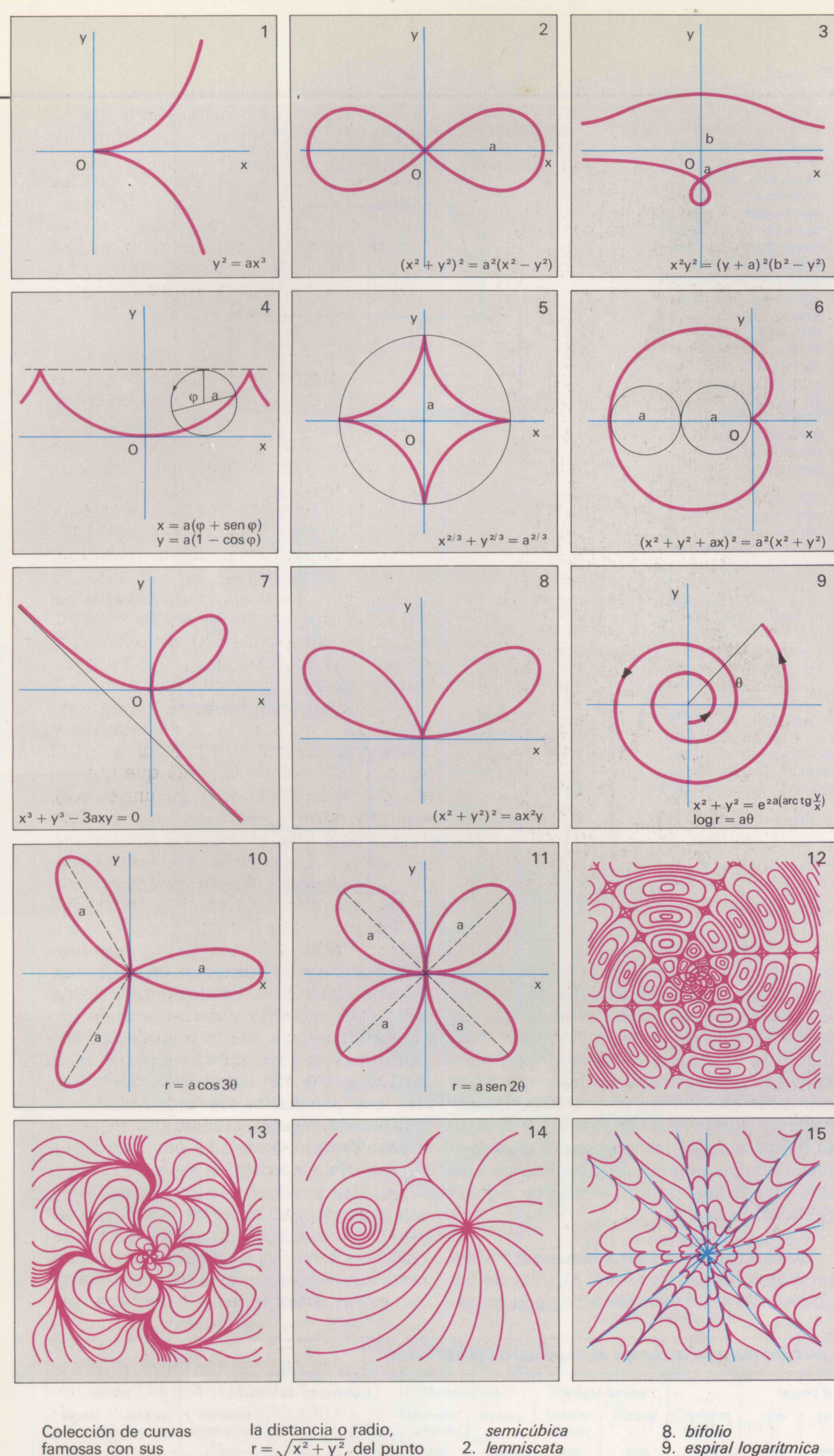
Notas.

- J_1, J_2 y J_3 son los determinantes "jacobianos" siguientes

$$J_1 = \begin{vmatrix} \frac{\partial y}{\partial u} & \frac{\partial y}{\partial v} \\ \frac{\partial z}{\partial u} & \frac{\partial z}{\partial v} \end{vmatrix} \qquad J_2 = \begin{vmatrix} \frac{\partial z}{\partial u} & \frac{\partial z}{\partial v} \\ \frac{\partial x}{\partial u} & \frac{\partial x}{\partial v} \end{vmatrix} \qquad J_3 = \begin{vmatrix} \frac{\partial x}{\partial u} & \frac{\partial x}{\partial v} \\ \frac{\partial y}{\partial u} & \frac{\partial y}{\partial v} \end{vmatrix}$$

que son funciones de (u, v). Naturalmente cuando se trata del punto $\mathbf{r}_0$ sus valores son, simplemente, números.

- La integral que da el área puede no existir y ésta no estar definida.



Colección de curvas famosas con sus ecuaciones, según los casos, explícitas, implícitas, paramétricas o "en polares" (estas últimas obtenidas al tomar como coordenadas la distancia o radio, $r = \sqrt{x^2 + y^2}$, del punto al origen y el ángulo, θ, que éste forma con el eje de abscisas). Algunas de estas curvas tienen nombres especiales:
1. *parábola semicúbica*
2. *lemniscata de Bernoulli*
3. *concoide de Nicomedes*
4. *cicloide*
5. *astroide*
6. *cardioide*
7. *folio de Descartes*
8. *bifolio*
9. *espiral logarítmica*
10. *rosa de 3 hojas*
11. *rosa de 4 hojas*.

Las familias de curvas de las figuras 12 a 15 se han obtenido como soluciones de diferentes ecuaciones diferenciales.

caciones directas, por ejemplo en Geodesia, sino que está en el origen de desarrollos matemáticos modernos, como el cálculo tensorial o la teoría de variedades diferenciables.

Nuevos horizontes en la teoría de curvas y superficies A mediados del siglo XIX pudiera haberse creído que la teoría de curvas y superficies estaba perfectamente definida y que, salvo el estudio de casos particulares, extensiones de resultados conocidos o, en todo caso, hallazgos en línea con los ya conseguidos, no cabían grandes novedades.

Sin embargo, la aparición de geometrías no euclídeas (en parte implícitas en la propia geometría intrínseca de superficies), la topología, la teoría de variedades, etc., han ido revolucionando este último siglo incluso los propios conceptos de curva y superficie. Así, la vieja idea de los *lugares geométricos* de los griegos, luego reemplazados, al generalizarse la Geometría analítica, por la de representación mediante funciones que cumplían ciertas condiciones de regularidad (como las de ser continuas y derivables), ha tenido que irse complicando hasta hoy. Por ejemplo, en la actualidad, las curvas y superficies del espacio euclídeo ordinario se consideran casos particulares del concepto de *variedad* o, si se trata de curvas y superficies regulares (es decir, con tangentes, rectificables, etc.) de variedad diferenciable. Sin perjuicio, claro es, del hecho de que, históricamente, se trate justo de lo contrario: las variedades generalizan los conceptos de curva y superficie.

De forma aproximada, informal y muy simple puede decirse que una *variedad* (más exactamente: una *variedad topológica*) de dimensión *n* es un conjunto con estructura de espacio topológico en el que cada punto del mismo tiene un entorno homeomorfo del interior de una esfera de $\mathbb{R}^n$ (es decir de los puntos $(x_1, ..., x_n)$ tales que $\Sigma x_i^2 < a^2$). Cuando un punto está en la intersección de dos entornos U y V de otros dos puntos, resultará que se le puede hacer corresponder la pareja de puntos de $\mathbb{R}^n$ $(u_1, ..., u_n)$ y $(v_1, ..., v_n)$ en los homeomorfismos que transforman U y V en esferas de $\mathbb{R}^n$. Pues bien, si sucede que las funciones que transforman las $(u_1, ..., u_n)$ en las $(v_1, ..., v_n)$, y recíprocamente, tienen derivadas parciales continuas hasta el orden *r*, se dice que la *variedad* es *diferenciable de orden r*.

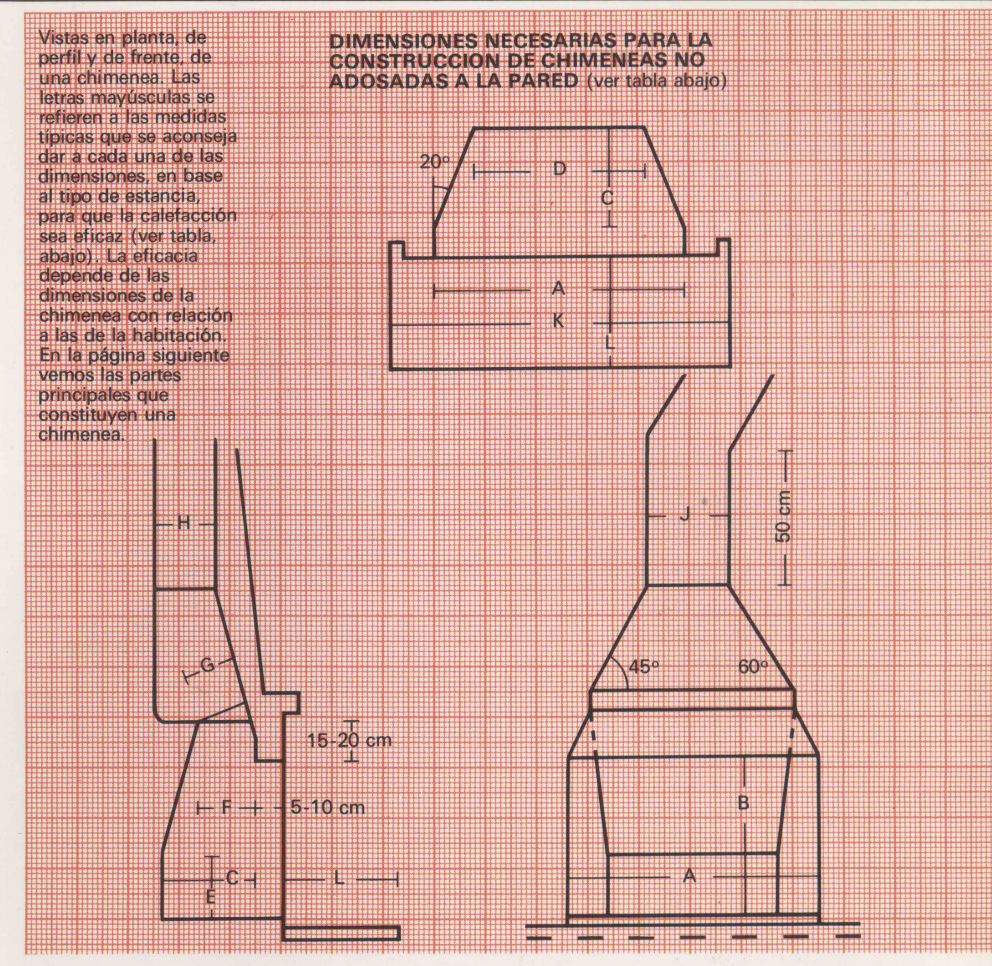
La teoría de variedades permite, por una parte, estudiar en el caso *n-dimensional, objetos* análogos a las curvas y superficies ordinarias, aplicándoles métodos de análisis similares a los seguidos en el espacio tridimensional para éstas (lo que no es una simple lucubración matemática ya que entre los citados *objetos* los hay de alto interés práctico; un ejemplo: la configuración de un sistema dinámico con *n* grados de libertad). Por otra parte tal teoría general permite percibir con cierta claridad la naturaleza matemática de las curvas y superficies elementales; es decir, como objetos tales que son homeomorfos, al menos localmente (es decir, en el entorno de cada punto), de intervalos abiertos de $\mathbb{R}$, si se trata de curvas, o del interior de círculos de $\mathbb{R}^2$ si de superficies.

Véase **Banda de Mœbius y botella de Klein; Area y volumen; Continuidad; Continuo matemático; Derivada y diferencial; Espacios vectoriales y afines; Espacios métricos y topológicos; Formas cuadráticas, cónicas y cuádricas; Geometría analítica; Geometría diferencial; Topología**

Chimenea

Son muchos los que están de acuerdo en que no existe una fuente de calor más acogedora que la chimenea; sin embargo, ésta ha sido muy atacada por los expertos en la conservación de la energía, que sostienen que la chimenea desperdicia más aire caliente del que suministra efectivamente. Aunque sea verdad que la chimenea no es el sistema más eficaz de calefacción, sí es cierto que representa un notable adelanto con respecto a los fuegos libres de la Edad Media y muchos expertos estiman que suministra un calor más saludable que el producido por otros medios más sofisticados.

Anatomía de una chimenea El calor de la chimenea emana de las llamas o de los ladrillos que las mismas calientan. La zona interior de la chimenea en donde se quema la leña se llama *hogar*. Tiene dos flancos inclinados; en la parte superior su ancho es mayor, de forma que el aire de la estancia puede pasar por encima del fuego y ser desviado después nuevamente hacia la estancia gracias a la pared posterior inclinada de la chimenea. La superficie de la cara anterior de la chimenea está cubierta generalmente por baldosines refractarios. La parte superior del frontal de la chimenea, llamada *arquitrabe*, favorece el envío de los humos hacia el conducto de la chimenea, denominado también *salida de humos*, y que a su vez los lleva hacia el conducto de salida al exterior. Esto constituye la principal ventaja de la chimenea en relación con los fuegos libres de otras épocas, que llenaban de humo los salones de los castillos. El conducto de salida puede ser cerrado por medio de una placa metálica llamada *válvula de tiro*, que se mantiene abierta cuando el fuego está encendido y se cierra en los demás casos. Es importante que esta válvula cierre herméticamente para impedir la salida del valioso aire caliente de la estancia al exterior. Sobre la válvula de tiro está la *caja de humos*, un rincón del conducto de humos que retiene el aire frío procedente del exterior para que no descienda por la chimenea inundando de humo la estancia o apagando el fuego. En muchas chimeneas la ceniza cae en un depósito debajo del piso y que puede ser removido para vaciarlo. El funcionamiento de una chimenea depende mucho de su colocación relativa en la estancia, de que los ladrillos estén o no bien secos, así como del tipo de construcción de la misma. Si la chimenea del tejado está muy baja con respecto a los árboles cercanos o a otras chimeneas, el aire sube difícilmente y puede hasta descender y apagar el fuego; aunque generalmente el defectuoso funcionamiento de una chimenea es debido a la falta de circulación de aire alrededor de la leña.



Vistas en planta, de perfil y de frente, de una chimenea. Las letras mayúsculas se refieren a las medidas típicas que se aconseja dar a cada una de las dimensiones, en base al tipo de estancia, para que la calefacción sea eficaz (ver tabla, abajo). La eficacia depende de las dimensiones de la chimenea con relación a las de la habitación. En la página siguiente vemos las partes principales que constituyen una chimenea.

Innovaciones en las chimeneas Los recientes desarrollos en la técnica de las chimeneas están dirigidos hacia la experimentación para conseguir un mejor rendimiento y hacia el diseño de tipos de instalaciones sencillas y de coste reducido. La instalación de una chimenea de mampostería es una solución muy cara. Es más fácil disponer de chimeneas prefabricadas con conductos de humo metálicos que pueden atravesar muros, techos y tejados. Cuando éstas son empotradas, se asemejan a los modelos antiguos.

Los "calentadores" están considerados una innovación reciente; consisten en crear unas cámaras entre el muro y las paredes de la chimenea. A esas cámaras penetra aire frío de la parte baja de la estancia, aire que asciende al calentarse, vol-

MEDIDAS DE CHIMENEA EN RELACION AL TAMAÑO DE LA ESTANCIA

Local o estancia	Dimensiones de la estancia		boca del hogar			profundidad	pared trasera		garganta		conducto de humos			placa	
			ancho	alto	sup.		ancho	tramo vertic.	unión	válvula ancho			sección calculada	ancho	largo
	m²	m²	cm	cm	cm²	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm²	cm	cm
—	—	—	A	B	—	C	D	E	F	G	H	J	—	K	L
habitaciones pequeñas	16-22	40-60	60 65	50 55	3.000 3.580	34 35	36 40	25 25	20 20	12 12	20 20	20 20	400 400	100 105	50 50
habitaciones medianas	22-30	60-90	70 75 80	58 60 63	4.060 4.500 5.040	36 37 38	44 49 53	25 25 28	20 20 20	12 12 12	20 20 20	20 20 26	400 400 520	110 115 120	50 50 50
habitaciones grandes	30-40	90-120	85 90 95	66 68 71	5.610 6.120 6.750	38 40 40	58 62 66	28 28 30	20 20 20	12 12 12	20 20 26	26 26 26	520 520 676	125 130 135	50 50 50

instalación interior: a media altura, con conductos de aire laterales

instalación interior: a la altura de la habitación, con conductos de aire laterales

instalación interior: a la altura de la habitación, con conductos de aire frontales

Arriba puede observarse la disposición adecuada de las canalizaciones de aire necesarias para una correcta calefacción: a la izquierda, una instalación con canalización lateral a media altura; en el centro, a la altura de la habitación, y a la derecha, también a la altura de la habitación, pero con salidas frontales. En la parte de abajo de esta página, tres vistas de la estructura de una → chimenea con los detalles de los distintos elementos constructivos. En el centro vemos "desarmada" una chimenea, con sus principales elementos.

dos elementos que forman la campana de humos

válvula que permite regular y cerrar el tiro

placa superior

cubrejunta de chapa o cobre

dos paredes traseras

pilar lateral

pilar lateral

interior del hogar, chapa de acero o cobre batido

prolongaciones de chapa o cobre batido para sujeción de los pilares

dos placas del hogar

válvula ya montada para introducción de aire en la estancia

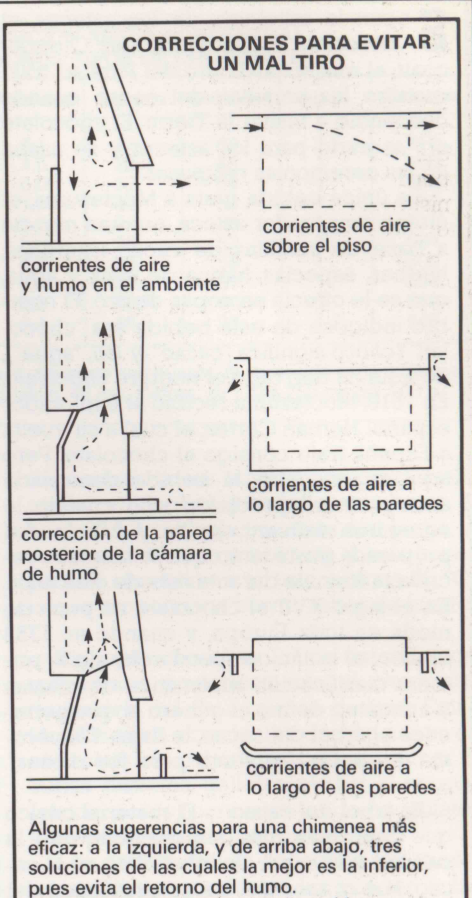
parrilla del hogar

válvula ya montada para introducción de aire

dos elementos de la base

tapón de la bisagra

chimenea de ángulo (vista de lado, de frente y en planta)



Algunas sugerencias para una chimenea más eficaz: a la izquierda, y de arriba abajo, tres soluciones de las cuales la mejor es la inferior, pues evita el retorno del humo. A la derecha vemos algunos dispositivos para interrumpir la circulación del aire.

viendo a la estancia por unas rejillas situadas por encima del arquitrabe, aplicando el principio de las corrientes de convección en los fluidos. Realmente los "calentadores" fueron inventados en el año 1624 por Louis Savot, un arquitecto que trabajaba en el Louvre. Su modelo también aspiraba aire de la habitación mediante rejillas existentes debajo del hogar y lo enviaba de nuevo a la estancia a través de una rejilla colocada en la campana de humos.

Las chimeneas alimentadas por aire frío queman el aire procedente del exterior en lugar de utilizar el valioso aire caliente existente en el centro de la habitación.

Algunos expertos estiman que incluso las chimeneas carentes de características que permiten el ahorro de energía resultan beneficiosas para quienes se sientan delante de ellas. A diferencia de los radiadores, de las estufas eléctricas y de las de gas, las chimeneas suministran una irradiación con una banda de longitud de onda constante y muy amplia, con radiaciones de intensidad muy diversa debidas a las continuas oscilaciones en la intensidad de la llama y a la baja irradiación de los ladrillos calientes de la chimenea.

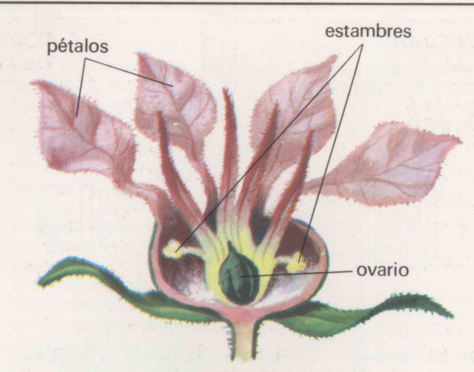
Véase **Calor; Combustión**

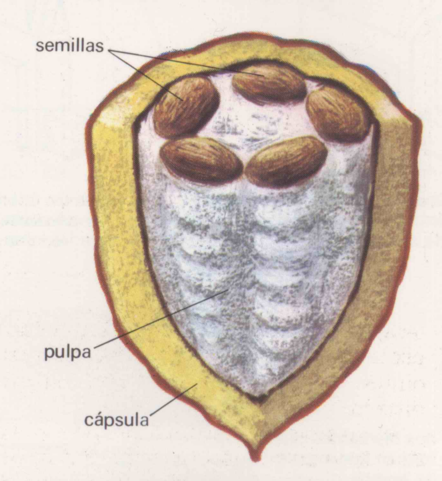
Chocolate

Según la mitología de los aztecas, el chocolate existe desde que Quetzalcoalt, el mismo jardinero del Paraíso, trajo consigo las semillas del cacao cuando descendió a visitar la Tierra. El chocolate era sagrado para los aztecas y se usaba en las ceremonias religiosas.

La única bebida grata a Moctezuma, el último emperador azteca, era una mezcla a base de semillas de cacao trituradas, hierbas, especias, harina de maíz y agua, que se le ofrecía en copas de oro. El nombre indígena de esta bebida era "chocolatl" (*choco* significa "cacao", y *latl*, "agua"), de aquí ha derivado el nombre *chocolate*. En 1519, Moctezuma recibió al explorador español Hernán Cortés, el cual a su vuelta a España trajo consigo el chocolate. Pero aquí se encontró la bebida demasiado amarga y la apreciaron sólo cuando le agregaron azúcar, vainilla y canela. Así preparada gustó tanto, que se mantuvo secreta la fórmula durante más de cien años. En el siglo XVII el chocolate se pone de moda en toda Europa, y cuando en 1753 Linneo, el botánico sueco autor de la primera clasificación sistemática de plantas y animales, define el género al que pertenece el árbol del cacao, lo llama *Theobroma*, es decir, "alimento para los dioses".

El árbol del cacao El material básico que determina, más que cualquier otro, la calidad y el sabor del chocolate es el cacao. Los granos del cacao provienen del árbol del cacao (*Theobroma cacao*), que crece en los trópicos. Es un árbol delicado y frágil que alcanza de 3 a 10 metros de altura, con hojas largas y brillantes, rojas y verdes. Sobre la corteza del tronco y alrededor de las hojas más viejas crecen directamente racimos de florecillas blancas y rojas. En cada árbol pueden florecer al año hasta 6.000 flores. Pero sólo el 1,1% de las flores es fecundado con el polen, siendo únicamente en éstas donde se forman las vainas que contienen los granos del cacao. También las vainas crecen directamente sobre la corteza, verdes al principio; cuando maduran, cambian a dorado o marrón —color del bronce—. Con sus flores, los reflejos plateados de la cor-

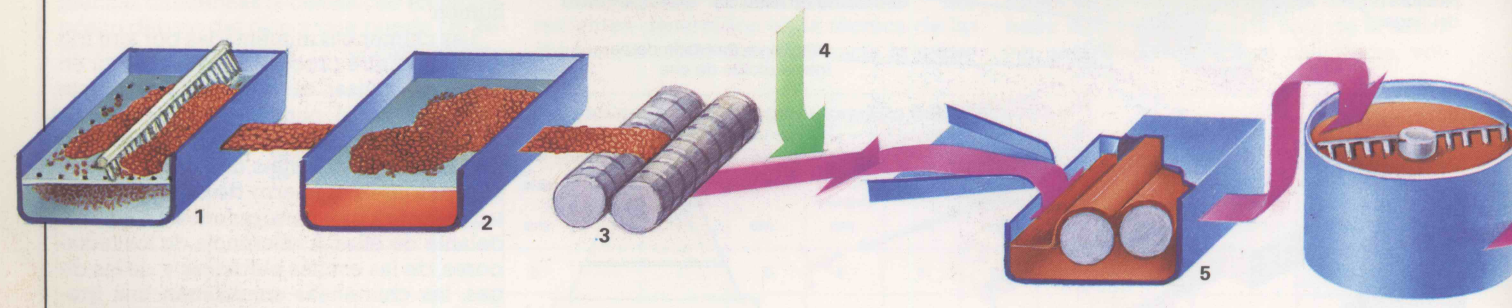




A la izquierda, flor del cacao seccionada longitudinalmente. Abajo, el fruto abierto, con granos visibles, de los que, tostados, se obtiene el apreciado polvo para hacer el chocolate. Para crecer, la planta requiere pocos cuidados, pero necesita un clima cálido y húmedo durante todo el año.



Bajo estas líneas, una plantación de cacao. Los mayores productores del mundo hoy en día son Suramérica y Ghana. No obstante el carácter monopolista de estos países en la producción del cacao, obtienen escasas ganancias, ya que el precio sufre enormes fluctuaciones en los mercados de materias primas. Ello origina los consiguientes altibajos en los salarios de la mano de obra dedicada a este cultivo, donde la recolección no se hace con máquinas, sino a mano.



Arriba, producción del chocolate a partir de la semilla de cacao. De izquierda a derecha, sobre estas líneas: 1) limpieza de los frutos y separación del material de desecho; en 2), tueste y separación de las cáscaras; en 3), separación de la pulpa de la semilla en los cilindros trituradores; en 4) y en 5), molido de los distintos ingredientes de la mezcla y formación de una pasta espesa; en 6), amasado de la mezcla; en 7), la mezcla pasa entre cilindros de metal y luego es batida; en 8), homogeneizado; en 9), moldeado en tableta; finalmente, en 10), enfriado, inversión y tableta acabada.

En la parte superior de la página siguiente, dos cuadros que representan la composición de las semillas del cacao y la del chocolate. Un componente importante de la semilla es la manteca de cacao, usada también en farmacología y en cosmética. Es uno de los elementos nutritivos del cacao, pero es también uno de los más difíciles de digerir. En conjunto, el gran valor nutritivo del chocolate provee de un alimento altamente energético, de acción inmediata por el componente azucarado y retardada por el componente graso; por eso se toma también como reconstituyente.

COMPOSICION MEDIA PORCENTUAL DE LAS SEMILLAS DE CACAO	En rama	Tostadas y descascarilladas	Cáscara
Agua	7,93	5,58	11,73
Lípidos	45,57	50,09	4,66
Amidas	22,57	21,68	43,29
Celulosa	4,70	3,38	16,02
Cenizas	4,61	3,59	10,71
Prótidos	14,18	14,13	12,81
Teobromina	1,43	1,55	0,78

COMPOSICION MEDIA PORCENTUAL DE ALGUNOS TIPOS DE CHOCOLATE	Prótidos	Lípidos	Glúcidos	Agua	Calorías
Corriente dulce	5,1	22	69	1	510
Fino dulce	4,5	29	63	1	550
Soluble semidulce	5,0	32	59	1	560
Amargo	7,8	33	54	1	560
Con leche, dulce	9,0	34	53	1	575
Con nata, dulce	8,0	36	52	1	584
De cobertura, dulce	4,5	39	53	1	600
Con leche	7,5	38	51	1	594
Amargo	9,2	38,5	50	1	583
Con nueces	9,4	46,2	24	1,7	565

Celulosa sobre el 8% en el chocolate con nueces. El contenido en teobromina es alrededor de 600 mg; calcio, 40 mg; fósforo, de 120 a 250 mg por 100 g.

teza, las vainas colgantes verdes, doradas, escarlatas y broncíneas, el árbol del cacao ofrece verdaderamente una visión paradisíaca.

Por término medio un árbol produce de 20 a 40 vainas al año. La vaina, que se asemeja a un melón oblongo, mide de 15 a 20 cm y contiene de 20 a 50 semillas de cacao que dan un peso neto de solamente 40 a 60 gramos. Las vainas, según la situación geográfica de las plantaciones, alcanzan la maduración en períodos diferentes. Los recolectores desprenden las vainas del árbol con cuchillos de acero de mango largo, otros operarios las cargan en cestas y las transportan a los llamados "exhaustores", que las abren en dos sirviéndose de cuchillos de hoja corta.

Después de separar las vainas, los granos de cacao se envían a las factorías de elaboración del chocolate, en las cuales son conservados en silos especiales. La mayor parte de las fábricas de chocolate son de grandes dimensiones y casi todas las fases de la producción se realizan con máquinas de gran rendimiento.

Para la obtención de manteca de cacao se desgrasa la masa de cacao ya líquida en prensas hidráulicas.

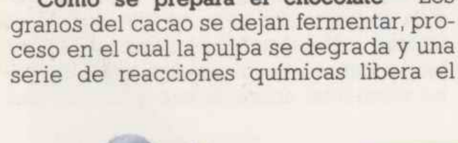
Cómo se prepara el chocolate Los granos del cacao se dejan fermentar, proceso en el cual la pulpa se degrada y una serie de reacciones químicas libera el aceite del cacao. Antes de la fermentación, los granos son de color púrpura, amargos y con un olor parecido al del melón. Luego cambian a color marrón y su aroma es ya el del chocolate.

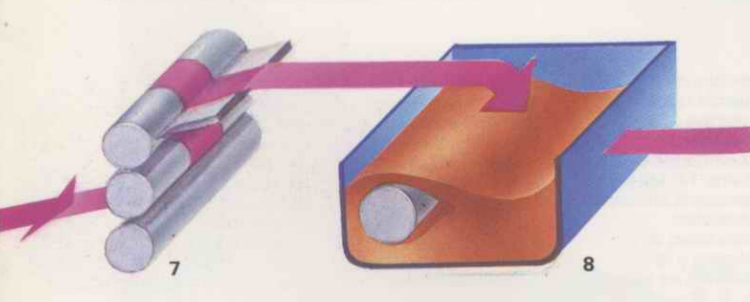
Después de ser nuevamente limpiados y liberados del resto de la cáscara, los granos se tuestan a 204 °C en tambores rotantes de modo que el calor sea uniforme; tanto la temperatura como el tiempo de tostado afectan de modo fundamental al sabor del chocolate. Posteriormente son fragmentados y la pulpa, que es desmenuzada en pequeños pedazos, es separada de los tegumentos mediante una fuerte corriente de aire a presión. La función del aire es también la de deshidratar la pulpa fragmentada, que contiene el 55% de manteca de cacao. La pulpa es triturada haciéndola pasar entre unos rodillos hasta formar una masa blanda, de la cual se derivan todos los productos del chocolate. La masa de chocolate es cuidadosamente mezclada con azúcar muy fino y se le añade manteca de cacao para que no se seque; esta última se fabrica prensando parte de la masa de cacao, lo que deja como residuo una torta, que se elabora hasta obtener cacao en polvo. La mezcla se refina haciéndola pasar entre unos rodillos muy lisos hasta que alcanza el tamaño adecuado de las partículas, lo cual determina la textura final del chocolate. Finalmente se realiza el *homogeneizado*, que consiste en un amasado intenso con un tratamiento de calor y aireación, de donde obtendrá el chocolate su suavidad, su textura cremosa, su pureza y su completa homogeneidad. A este método se le llama también "conchado" debido a que el recipiente original donde antiguamente se realizaban estas operaciones tenía forma de concha: se trataba de un recipiente plano de granito sobre el que pasaban unos rodillos también de granito fijos a unos brazos de acero. Sin embargo, actualmente la mayoría de los fabricantes realizan esta operación en una concha vertical de acero. La duración de la homogeneización y la temperatura a la que se realiza dependen de los fabricantes, pero suele oscilar entre diez y veinticuatro horas, a unos 65 °C, para el chocolate con leche, y entre veinticuatro y noventa y seis horas para el chocolate a la taza, a unos 75 °C, lo que proporciona mayor sabor de tueste.

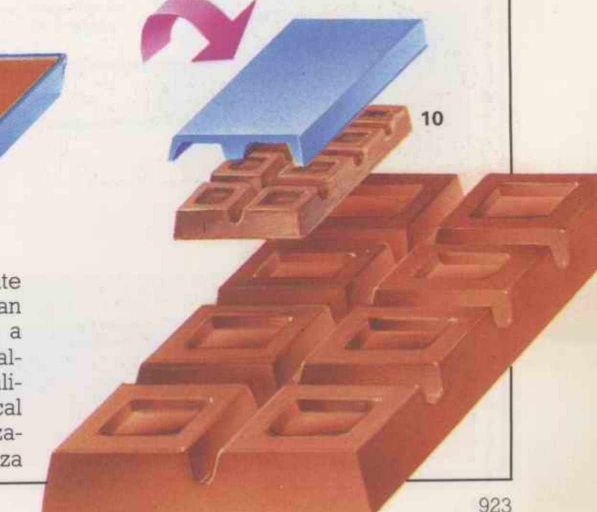
Tipos de chocolate Los tratamientos que recibe posteriormente el chocolate dependen del fin a que se destine. Existen dos tipos principales de chocolate: el *chocolate de cobertura* (para envolver o cubrir pasteles, galletas, etc.) y el *chocolate de molde* (para tabletas de chocolate, huevos de pascua, bombones, etc.)

Las coberturas de chocolate las hacen especialistas que luego las venden a fabricantes de galletas, helados, etc., en forma de bloques, planchas o líquido. Los productos que se han de recubrir se colocan sobre una cinta transportadora que pasa por el rociador de chocolate. Una vez recubiertos de chocolate se introducen en un túnel de refrigeración.

Para elaborar tabletas, el chocolate líquido es templado e introducido en moldes mediante un dispositivo alimentador. Al enfriarse, queda moldeado el chocolate sólido. En el caso de las tabletas rellenas, primero se llenan los moldes y luego se pasan por debajo de otro dispositivo alimentador que deposita el relleno, invirtiéndose el molde para que el relleno quede cubierto por el chocolate.







Datación por carbono 14

El método del carbono 14 —isótopo radiactivo del carbono, de peso atómico 14— constituye uno de los métodos más avanzados y exactos para la datación de vestigios del pasado remoto. Consiste en la medición del carbono radiactivo residual én la materia orgánica muerta. Su descubridor, Willard F. Libby, del Instituto de Estudios Nucleares de Chicago, dio a conocer al mundo en 1946 los primeros resultados de su investigación con la publicación de sus trabajos sobre la existencia teórica de radiocarbono en la atmósfera. Posteriormente, ya en 1960, el profesor Libby recibía el Premio Nobel de Química como reconocimiento mundial a la validez de sus investigaciones sobre este método de datación.

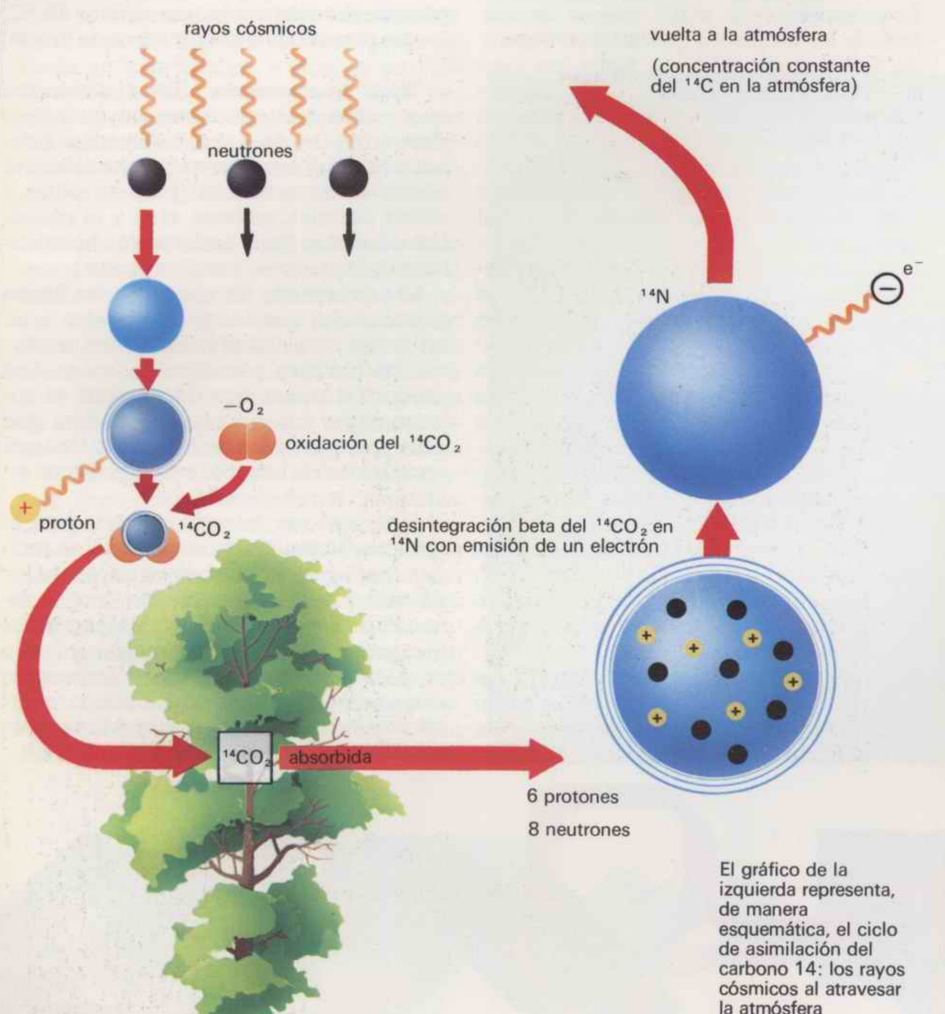
La labor desarrollada por este científico, ayudado por sus colaboradores Anderson y Arnold, era, no obstante, un tema que ya se venía estudiando desde principios de siglo con los trabajos de Hess.

Nuestro planeta recibe de forma constante una cantidad de radiactividad que, procedente del espacio, llega a la Tierra gracias a los rayos cósmicos. Cuando los rayos cósmicos calientan la atmósfera terrestre producen neutrones que van a reaccionar con el nitrógeno del aire formando carbono 14 en cantidades mínimas no nocivas. Dicho carbono 14 forma un enlace químico con el oxígeno y llega a la Tierra en forma de dióxido de carbono que es absorbido por todos los seres vivos. Ahora bien, este trasvase o intercambio entre la atmósfera y los organismos vivos se interrumpe a partir de la muerte de estos últimos, iniciándose a continuación un proceso de desintegración paulatina y constante del carbono 14: se reduce a su mitad cada 5.730 años aproximadamente.

Así pues, y de manera general, se podría afirmar que la medida de la cantidad residual de carbono 14 que se encuentra en los restos de materia orgánica nos puede indicar el tiempo que ha pasado desde que dicha materia dejó de estar viva. Este método de datación proporciona datos fiables para muestras de hasta 70.000 años. Ahora bien, para estas últimas la fiabilidad de los resultados disminuye notablemente.

Arqueólogos y geólogos, principalmente, han sido los mayores beneficiados con el desarrollo de esta técnica, que en la década de los años cincuenta pareció ser la solución a los problemas de cronología y datación absolutas. No obstante, y aun a pesar de ser uno de los métodos de aplicación más generalizada, hay que tomarlo con cautela. Los problemas que su utilización lleva consigo han ido obligando a los investigadores a una continua tarea de calibración o "ajuste".

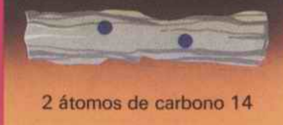
Determinar la cantidad de carbono 14 que una muestra sin descomponer encierra en sí no es, desgraciadamente, tan preciso como fuera de desear. Para medir la radiación de la muestra, es decir, la emisión de partículas beta, los investigadores utilizan generalmente el contador Geiger. Libby introducía la muestra como carbono elemental sobre la superficie interior



A la izquierda, composición de un átomo de carbono: 6 protones y 6 neutrones en su núcleo. Los primeros le confieren una carga positiva, los segundos, en cambio, contribuyen únicamente a la formación de su masa. El carbono entra a formar parte de la materia viviente cuando se combina con el oxígeno, dando lugar al dióxido de carbono. Este es asimilado por las plantas —en función de la fotosíntesis— y forma glúcidos que pasan a la dieta animal; a partir de aquí es fácilmente explicable su presencia en el hombre.

El gráfico de la izquierda representa, de manera esquemática, el ciclo de asimilación del carbono 14: los rayos cósmicos al atravesar la atmósfera bombardean el nitrógeno y lo convierten en isótopo 14 del carbono (ver su núcleo a la derecha). De esta manera, el dióxido de carbono presente en la atmósfera tendrá una proporción constante de moléculas con carbono 14. Esta misma proporción la tienen todos los seres vivos: animales y vegetales. Ahora bien, con su muerte este proceso de asimilación se detiene, y en su lugar comienza un paulatino y constante proceso de degradación del carbono 14.





de un cilindro de latón y lo insertaba en el contador. Sellando los extremos y haciendo el vacío se llenaba con una mezcla de argón y etileno, mezcla que facilitaba la labor del contador Geiger. Su eficacia, no obstante, no era muy grande, sobre todo para muestras de más de 20.000 años.

La necesidad de superar esta "barrera cronológica" y de eliminar posibles contaminaciones exteriores trajo consigo la utilización de otros métodos. Así, se experimentó transformar el carbono muestra en una fase gaseosa e introducirlo en la cámara de vacío como gas de relleno. Diversos laboratorios han venido utilizando otros gases como método de cómputo basándose en una mayor o menor facilidad de síntesis del gas de la muestra bruta o en la mayor o menor cantidad de carbono de sus moléculas. Así, el laboratorio de Michigan emplea una mezcla de disulfito de carbono y dióxido de carbono. Otros gases empleados son el acetileno y el etileno.

La precisión de los distintos laboratorios en donde en la actualidad se realizan estos análisis no es siempre la misma: la calidad de sus instalaciones o la misma preparación de sus equipos de investigadores son variantes fundamentales a la hora de realizar trabajos de datación.

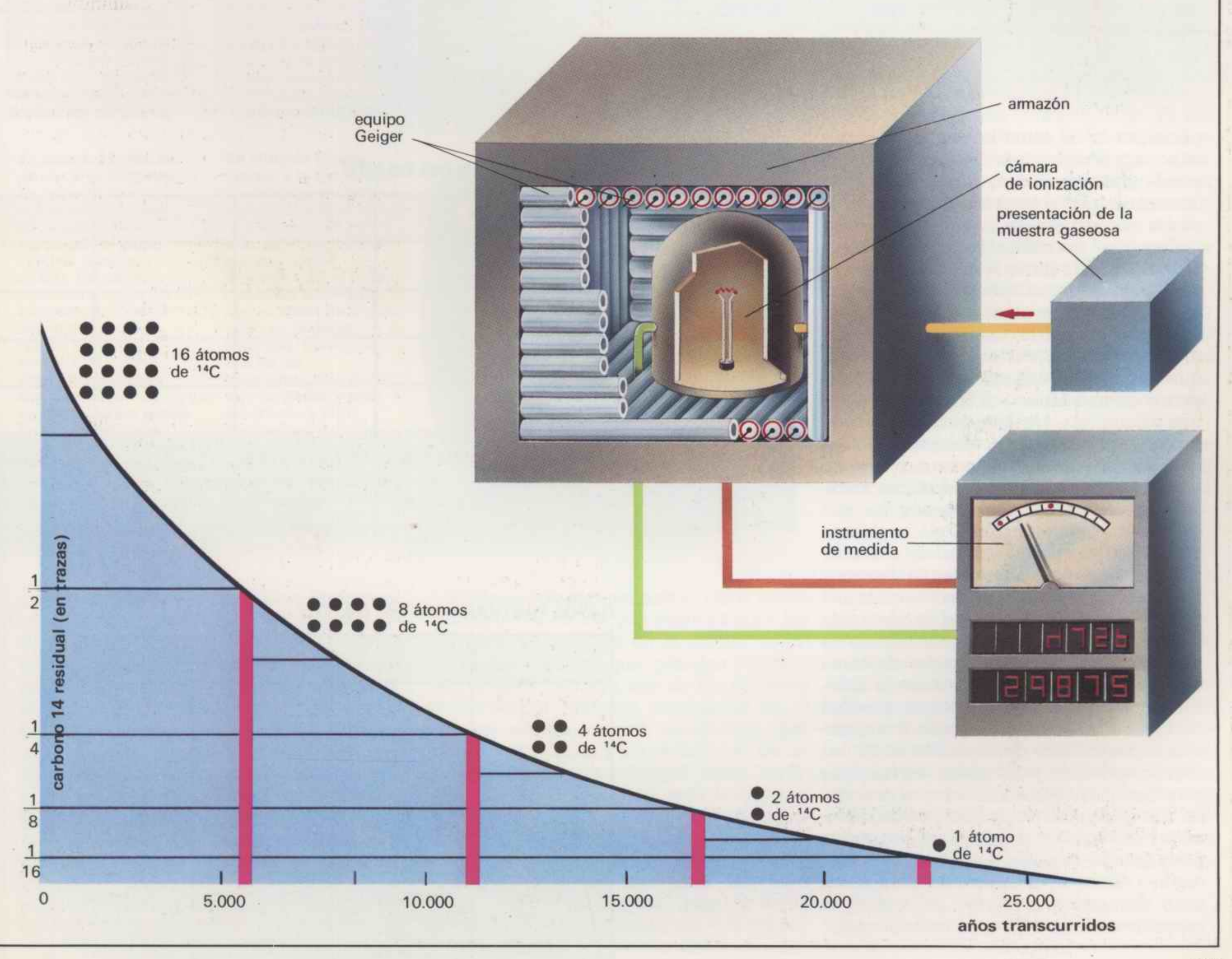
Para dataciones arqueológicas hay que valorar la relación cronológica existente entre la muestra a analizar y el entorno al que pertenece, y que va a datar. Muchas veces no tiene que haber una sincronía entre ambos. Valga como ejemplo el caso de unos troncos empleados en la construcción de una cabaña y el ajuar material encontrado dentro de ella. Muy fácilmente, la madera empleada puede tener 60, 80 ó 100 años más de antigüedad que las cerámicas halladas en la cabaña.

Encontramos también toda una serie de problemas por contaminación. Son los más frecuentes y en ocasiones sus efectos son, prácticamente, irreversibles. Por un lado tenemos alteraciones de carácter orgánico: intercambio de carbonatos, infiltraciones de ácido húmico... y por otro aquellas de carácter estratigráfico: roedores, raíces de los árboles, etcétera.

En España, el uso del carbono 14 como método de datación comenzó a aplicarse a principios de los años sesenta, pero hasta el final de la década no se contó con un laboratorio instalado destinado a ese fin. Su uso entre los investigadores se ha generalizado, pero, por desgracia, dista mucho de ser la solución ideal.

Véase **Arqueología; Carbono; Contador Geiger**

Todo resto orgánico de un ser vivo, en el que el carbono es su elemento constitutivo, conserva una cantidad determinada de carbono 14 sin descomponer. Cuantificar dicha cantidad nos permite establecer cuánto tiempo ha transcurrido desde su muerte. El diagrama de abajo representa la velocidad de desintegración del carbono 14, que dura unos 5.730 años. La cantidad de núcleos de carbono 14 se reduce a la mitad por desintegración espontánea. Se establece, pues, una curva con decrecimiento exponencial (diagrama inferior). Para cuantificar dicha proporción se quema la muestra de materia órgánica, guardando el dióxido de carbono desprendido. Este gas es introducido en una cámara que contabiliza los impulsos debidos a la desintegración del carbono 14 de la muestra. La armadura con que se le rodea sirve para protegerlo de los rayos cósmicos y de las partículas radiactivas terrestres. Los contadores externos marcan estos impulsos a la vez que el contador interno, y posteriormente son descontados.



Datos, base de

La cultura, la ciencia, la técnica y la gestión industrial y comercial han impuesto la necesidad de recoger enormes cantidades de datos, que son habitualmente organizados en forma de grandes archivos en las bibliotecas, oficinas, centros oficiales, etc. Frecuentemente, las enormes dimensiones de estas colecciones de datos hacen que sean minuciosamente fraccionadas según su especialización. Cada fracción constituye un archivo de alcance limitado, pero importante para quien debe trabajar en dicho campo. Como este archivo tiene dimensiones limitadas, es relativamente fácil para un especialista en el tema buscar entre datos cuyo significado conoce, de forma que puede encontrar fácilmente el dato que le interesa; si, por el contrario, intentase conseguir datos fuera de su campo de especialización, se encontraría incómodo y probablemente tardaría mucho tiempo en encontrar informaciones que existen en el archivo pero que no sabe dónde buscar.

En cierto sentido, es el mismo problema que encuentra el estudiante de cualquier materia que deba efectuar una búsqueda en una biblioteca: aunque ésta sea rica y completa, y en mayor medida cuanto más lo sea, la indagación puede ser larga y difícil, a menos que sea muy experto y conozca cómo están organizados los libros que le interesan y, más aún, los que le puedan interesar. Pero este problema se vuelve mucho más difícil de resolver con los datos organizados en la memoria de un ordenador. Esta puede contener una enorme cantidad de datos y la búsqueda puede ser veloz, pero sólo a condición de que los datos estén organizados de forma adecuada; de otro modo, incluso la altísima velocidad del ordenador se perderá en el laberinto de la búsqueda. Por ejemplo, en un archivo de un millón de títulos (como artículos publicados en revistas técnicas) dispuestos sin orden ni concierto, una búsqueda a la velocidad de mil títulos por segundo requiere mil segundos: poco tiempo respecto a una consulta efectuada a ojo en un fichero o en un registro, pero demasiado teniendo en cuenta el coste de un cuarto de hora de ordenador.

Organización de la base de datos Supongamos, pues, que se quiere organizar un conjunto de archivos que contenga todo cuanto se ha escrito sobre el sector de la metalurgia (se publican más de cien mil artículos cada año en cientos de revistas).

En el campo de la metalurgia existen, sin embargo, muchas subdivisiones y campos afines que pueden interesar a un técnico del sector. Veamos un ejemplo: un técnico se interesa por la siderurgia, o sea, por el hierro y sus aleaciones; otro, por el aluminio y las aleaciones del mismo; un tercero, por la producción de materias pri-



DATOS GENERALES COMUNES DEL OBJETO

	BN/C	AÑO	AUTOR	FORMATO	VINCULOS DE AGENCIA
000001					
000002					
000003					
002718	C	1981	S. FORD	24 × 36	COMPRA LIBRE
002719	C	1972	J. SMITH	13 × 18	PRESTAMO BLACK STAR

Una base de datos es una colección de informaciones homogéneas entre sí. En esta colección, los datos deben poder encontrarse según sus diversas características. Para dar un ejemplo significativo, se presenta, con ayuda de esquemas, una base de datos correspondiente a una gran colección de fotografías; no unas pocas, como podrían ser las poseídas por un aficionado, sino cuantas se hallan a disposición, por ejemplo, de una agencia fotográfica o de un editor. El problema de disponer de la información deseada en la base se divide en dos partes. En la primera, se trata de introducir los datos característicos e identificadores de los fotogramas. Un experto debe examinar cada fotograma y formular y clasificar su contenido. Estos datos son suministrados a la memoria del ordenador, que proporciona el soporte para la base de datos. En la segunda, se intenta disponer de buenas reglas de búsqueda. Los datos están organizados en un cuadro rectangular.

DATOS GENERALES CARACTERISTICOS DEL OBJETO

VERTEBRADOS	MAMIFEROS	PRIMATES	ANTROPOIDES	CERCOPITECIDOS	HAMADRIADES
DISEÑO URBANO	BERNINI	BARROCO	ITALIA	FUENTE	MARMOL

DATOS PARTICULARES DEL OBJETO

GRUPO	CAUTIVIDAD	CON CRIAS	ADULTOS
ROMA	PLAZA NAVONA	1651	FUENTE DE LOS RIOS

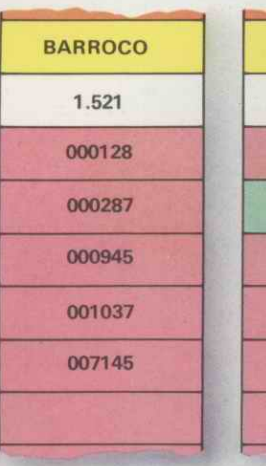
mas en lingotes, y otro, por las aleaciones especiales. Aun habrá quien se interese por el modo de trefilar y laminar estos metales, por conocer las cualidades de resistencia a alta temperatura, por el tipo de aleaciones más apropiado para las construcciones aeronáuticas, y así sucesivamente.

Las fuentes de información de esta base de datos son las revistas especializadas del sector (existen cientos de ellas en todo el mundo) y las colecciones de datos tomadas de las asociaciones de categoría internacional; en ciertos casos, también se pueden obtener datos de catálogos de productos industriales. Cada mes se publican cientos de miles de estos artículos y catálogos, y el primer problema es cómo clasificarlos para poder después encontrarlos fácilmente. La tarea inicial es, entonces, la de leerlos y entender muy a fondo su contenido, a fin de poder comunicar a quien efectúa las búsquedas qué información existe. Esta labor es muy compleja, acaso la más compleja de toda la organización, en cuanto que es necesario que el material escrito sea analizado por personas muy expertas en cada sector. Recibir el material y determinar quién debe analizarlo es una tarea no despreciable, pues equivocarse de especialista puede significar perder una información preciosa.

El analista lee el material y proporciona el título y un breve resumen del contenido a la persona encargada de archivar la información en el sistema electrónico; por consiguiente, se preocupa de señalar en qué categorías recae el interés de cuanto ha leído, por ejemplo: metalurgia, aluminio, aleaciones para aeronáutica, métodos de laminación, análisis microscópico de defectos, etcétera.

La base de datos tiene, pues, un archivo en el que figuran en lista todos los títulos de los trabajos leídos y clasificados; a continuación se encuentran otros archivos menores en los que están listados los números de posición en el primer archivo de los trabajos que guardan relación con el tema de cada uno de los de estos archivos. Por ejemplo, *laminación* es el nombre de un archivo secundario que contiene los títulos y los resúmenes de algunos millares de artículos. Estos serán encontrados leyendo en este archivo el número de orden en que se encuentran en el archivo principal.

CATEGORIAS PARA LA RESTRICCION DE LA BUSQUEDA



D. URBANO	BARROCO	BERNINI FUENTE
10.726	1.521	27
000009	000128	000315
000128	000287	002719
000715	000945	007021
001037	001037	071024
002981	007145	

En el terminal con que se efectúa la búsqueda (debajo), aparece sucesivamente el dato que caracteriza lo que se busca, a medida que la búsqueda se restringe. En *Diseño Urbano* están catalogadas más de diez mil imágenes. Pero si se exige que se trate de *Diseño Urbano Barroco*, el número desciende a 1.521. Si se concreta que la obra sea de Bernini y sea una fuente (en la página anterior), se baja a sólo 27 fotografías, que pueden examinarse ya una por una.



En ambas páginas se ve cómo se disponen las informaciones en la memoria de datos de una gran base. En un primer grupo (página anterior, arriba), los datos comunes a todos los fotogramas, como el hecho de estar en blanco y negro o en color, el autor u otras informaciones similares. En el segundo bloque vemos los datos generales inherentes al contenido del fotograma (se proporcionan los datos de dos fotos típicas de un animal y de un objeto de arquitectura).

En el tercer bloque (abajo, a la izquierda), en cambio, los datos particulares de la foto. Los fotogramas han sido catalogados uno a uno y vienen dispuestos en el orden casual de la compra, que es como decir que están en perfecto desorden. Pero cada una de las características que han sido anotadas puede ser común a otros fotogramas y, en la catalogación, se han creado archivos accesorios que dan la posición de todas las fotos en color que tienen esta misma característica.

La búsqueda en una base de datos Quien tiene acceso a una base de datos por medio de un terminal de ordenador, para tener éxito en la indagación, debe conocer la estructura de la base, que suele haber sido descrita cuidadosamente por quien la ha diseñado. Veamos cómo se desarrolla la búsqueda. El operador pide primero datos genéricos y, sucesivamente, restringe la búsqueda a elementos cada vez más definidos; obtiene en respuesta el número de datos disponibles, que será muy alto para las primeras preguntas genéricas y mucho menor cuando se defina mejor la cuestión presente, y, a petición ulterior, también sus resúmenes.

La estructura de la base de datos de la que hemos hablado más arriba es bastante compleja: de hecho, contiene un material —los artículos técnicos o científicos de revistas— que puede ser riquísimo en contenidos útiles para campos muy diversos. En cambio, existen también bases de datos más simples que tienen todos los datos organizados de modo que puedan encontrarse inmediatamente o casi. Por ejemplo, la situación de todas las cuentas corrientes de un gran banco constituye una importante base de datos: en este caso, si se quiere saber cuál es el saldo de una cuenta corriente, basta indicar el número de la cuenta y de qué fecha interesa el saldo.

La existencia y la posibilidad de consulta de las bases de datos suponen grandes problemas de confidencialidad y de seguridad. Por ejemplo, en el caso de una base de datos científica, el secreto no es un problema, pues contiene datos ya publicados y, por tanto, de dominio público. Sin embargo quien consulte la base a través de un terminal debe pagar un canon. Cualquiera podría acceder a la base de datos, pero todo abonado tiene su código secreto por medio del cual se le permite hacer consultas. Si este código pasa a conocimiento de un extraño, éste podría acceder a la base, obtener la información y cargar el coste al verdadero propietario de la clave. Es lo mismo que le ocurriría a quien perdiese la llave de su propio almacén: quien la encontrase podría proceder a retirar materiales.

En el caso de una base de datos como la de las cuentas corrientes, en cambio, el conocimiento de la propiedad de cada depositante debería ser un secreto reservado a este último y nadie (salvo por ley) debería poder conocer la situación bancaria de la persona. Defender estos datos es el fin principal de los sistemas electrónicos de seguridad. Desgraciadamente, la acumulación de grandes cantidades de datos ha estimulado el desarrollo de una delincuencia especializada en acceder abusivamente a esta información, de la misma forma que el delito común intenta el acceso abusivo a los bienes físicos. Además, está el problema del uso indebido que pueden hacer incluso las personas autorizadas para el acceso a la información. De ahí las leyes que se han dictado acerca del secreto informático y la protección de la intimidad.

Véase **Banco de datos; Datos, procesamiento de**

Datos, procesamiento de

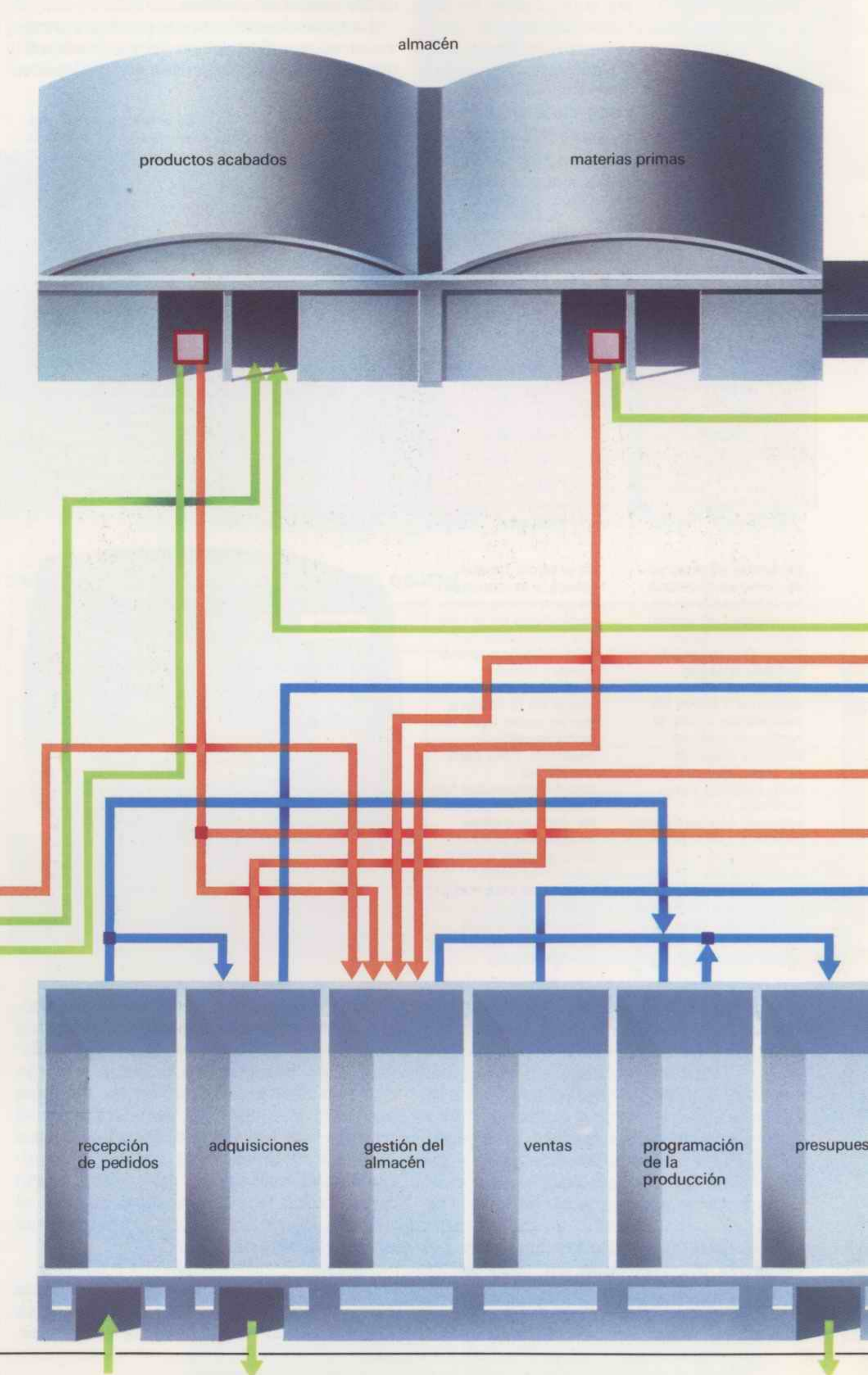
El proceso o procesamiento de datos es un campo tan amplio que para hacer justicia se le debería dedicar un libro. Por ese motivo en estas páginas se abordarán solamente los aspectos más importantes del tema para dar una visión equilibrada.

Para empezar, el mismo acto de pensar es un tipo de proceso de datos, de forma que cuando los ordenadores están procesando datos, están "pensando" a su manera. El término *proceso de datos* se utiliza habitualmente cuando se hace referencia al tratamiento de datos grabados en cualquier soporte mecánico, electrónico o automático.

El hombre ha empezado a archivar datos antes de que la cantidad de éstos aumentase de tal forma que fuera imposible recordarlos. Los registros escritos (que son importantes por ser el punto de partida para resolver disputas sobre detalles relacionados con hechos pasados) son la base para el desarrollo de un banco de datos, que es una colección de registros que contienen informaciones útiles. Una vez que se ha creado un archivo ordenado de anotaciones, se puede empezar a pensar en su gestión, o tratamiento, de forma mecánica. Por ejemplo, si las anotaciones contables manuales del libro diario de una tienda de venta al detalle registran la caja y las ventas, los datos del libro diario se pueden procesar para obtener nuevas informaciones, como la facturación a los clientes y los pedidos a los proveedores. Un libro diario bien organizado permite que una persona que no conozca ni a los clientes ni los productos de la tienda pueda sumar todos los pagos de los clientes siguiendo la lista de nombres o códigos numéricos, o bien hacer un resumen de las salidas de los distintos artículos del almacén o determinar el momento de renovar los pedidos en función de las tasas de salida de los artículos en venta.

Estos procesos se empezaron a realizar con máquinas poco tiempo después de la introducción de las fichas perforadas como medio de almacenar la información: con este sistema se realizó el censo de los EE UU en 1890. En los años siguientes se desarrollaron numerosas máquinas para el procesamiento mecánico de datos grabados en fichas perforadas. Se construyeron máquinas capaces de seleccionar, comparar o reproducir cajones enteros de fichas perforadas con sólo tocar otras fichas. Las máquinas de este tipo más avanzadas operaban bajo el control de paneles con conexiones de hilo, en donde los hilos conectados en el panel hacían que la máquina respondiera a las perforaciones realizadas en determinadas posiciones de las fichas y efectuase las operaciones deseadas, como sumas o multiplicaciones, y la perforación o impresión de los resultados.

El desarrollo de los ordenadores con



Con el término *proceso de datos* se indica las operaciones de todo tipo que realiza un ordenador, incluso la lectura y escritura de los datos en un archivo electrónico. En el campo de la informática no siempre existen definiciones precisas, por lo que es mejor presentar un ejemplo como el de la figura que ocupa ambas páginas, en el que se indica el flujo de datos en una empresa que produce y vende ciertos productos. Arriba, a la izquierda, se encuentra el almacén de productos acabados, y a la derecha de éste, el de materias primas. Más a la derecha, está la fábrica, en donde se hallan las unidades de producción. Abajo, las oficinas, divididas idealmente según las distintas funciones que desempeña cada sección. La empresa no podría funcionar sin un conocimiento preciso del movimiento de artículos en el interior y una relación de las informaciones intercambiadas con el exterior; esto se realiza a través de un sistema electrónico situado en las oficinas y con cierto número de terminales e impresoras distribuido en los almacenes, talleres y oficinas.

programa de almacenado, que estuvieron disponibles comercialmente en los años cincuenta, dejó a un lado a las máquinas mecánicas. El ordenador con programa de almacenado hizo que se pudiera tener una libertad mayor a la hora de elegir el tipo de tratamiento, debido a que el programa que lo realiza se puede cambiar o modificar en cualquier momento. Además, a partir de entonces los datos pueden archivarse en soportes de mayor capacidad, como son las cintas magnéticas, en lugar de utilizar tarjetas, aunque éstas se mantuvieron todavía en uso como medio para comunicar los nuevos datos al ordenador.

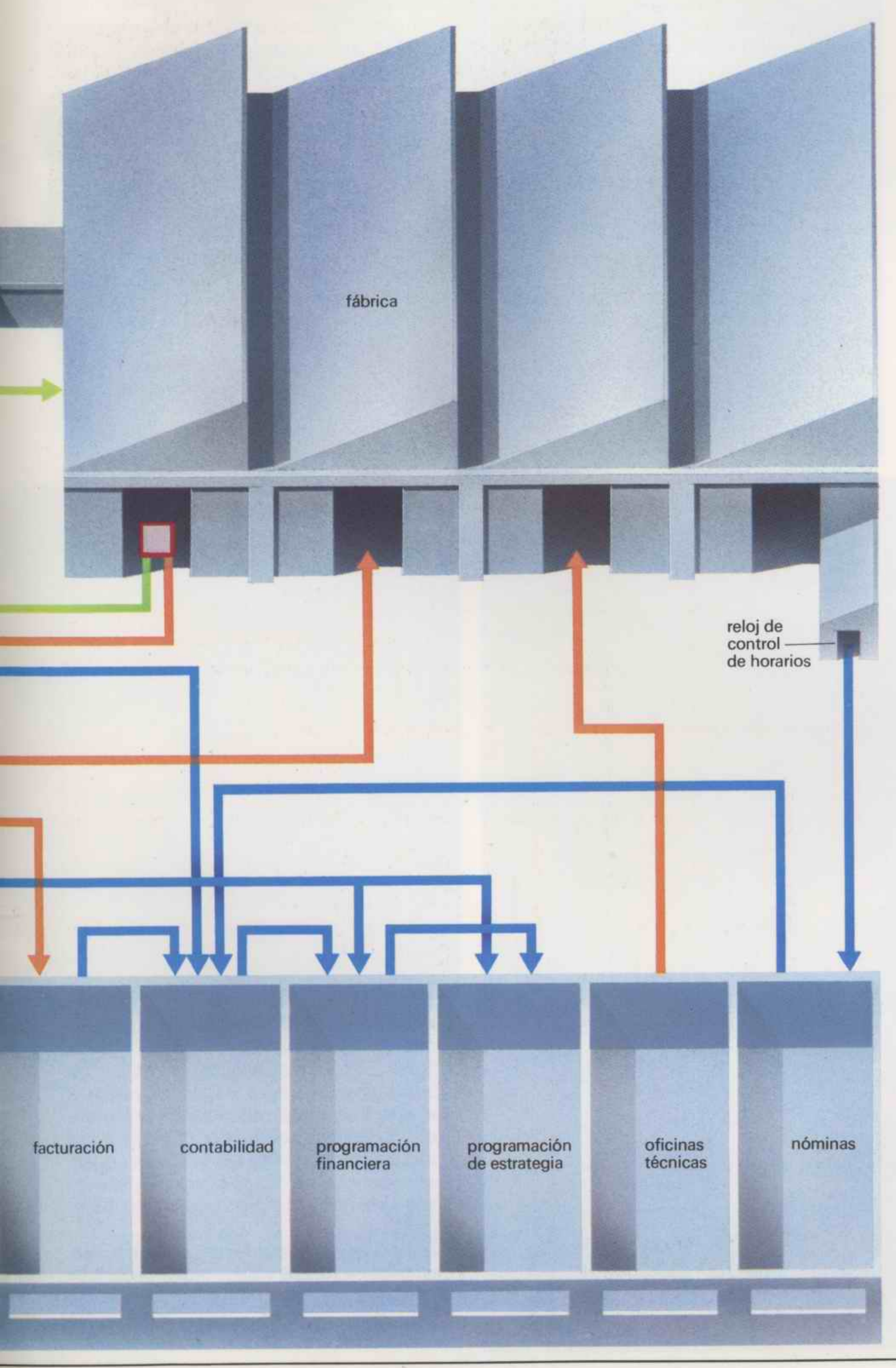
La versatilidad creciente de los ordenadores hacía posible obtener gran cantidad de información a partir de los datos archivados, con una utilidad mucho mayor de lo que nunca se hubiera pensado.

Para poder comunicarse con los ordenadores se tuvieron que desarrollar los lenguajes de programación. Además empezó a verse que el método de trabajo habitual se tenía que modificar para obtener una mejor rentabilidad. Por ejemplo, en la vida normal es mucho más eficaz hacer las cosas de una en una, mientras que para los ordenadores (especialmente en las aplicaciones comerciales) es la forma de utilización menos eficaz. Además las máquinas tienen tal velocidad de cálculo, que se desperdicia tiempo de cálculo cuando el ordenador está parado esperando nuevos datos. Esto ha llevado al desarrollo de la *multiprogramación*, que significa que el ordenador tiene almacenado un grupo de programas independientes, de forma que se va dedicando a aquellos programas que tienen todos los datos disponibles, y cuando en uno de los programas hay que esperar, se dedica a otro. Para esta forma de trabajo son necesarios sistemas muy sofisticados que puedan seguir las operaciones y decisiones que se van desarrollando y que se conocen con el nombre de *sistemas operativos*.

El *banco de datos* es un concepto que prácticamente se ha superado en los modernos sistemas, siendo reemplazado por el de *base de datos*. Los sistemas de gestión de base de datos, diseñados para tratar la nueva forma de ver las cosas, están en una fase de desarrollo tan rápido que no se puede prever dónde acabarán. Los sistemas de información integrados, es decir, con todos los datos disponibles para que, por ejemplo, la dirección pueda tomar decisiones, son el objetivo principal.

Con el sistema de "tiempo compartido", en el que muchos usuarios pueden tener acceso al ordenador sobre la base de que este asigna a cada programa una fracción de tiempo especificado, y la rápida difusión de los mini y microordenadores, se puede asegurar que el proceso de datos se expandirá continuamente y evolucionará rápidamente en un futuro inmediato.

Véase **Banco de datos; Datos, base de; Ordenador, lenguajes de; Ordenador, programas de**



El proceso de datos en una empresa empieza con la recepción de pedidos de los clientes; es necesario presupuestar la adquisición de materias primas y distribuir las horas de trabajo de las distintas unidades para cumplir los tiempos de entrega marcados. Todo esto se puede hacer conociendo los compromisos adquiridos. En la rapidez de las adquisiciones influyen el análisis de las disponibilidades en el almacén y la salida de los productos acabados, lo que ocasiona movimientos en el almacén. Además es necesaria la emisión de facturas que, junto a las adquisiciones y a los movimientos financieros, exigen anotaciones contables; éstas a su vez conllevan la elaboración de declaraciones fiscales. La producción y los talleres exigen personal, lo que supone todo un sistema de nóminas. Estas se pueden considerar como un proceso del dato "horas de trabajo", además de otros como primas, pluses, fiestas, permisos, etcétera. La programación financiera y las oficinas técnicas también utilizan el proceso de datos.

DDT y otros plaguicidas

En este siglo se han sintetizado potentes insecticidas como el DDT, el BHC, el clordano y el paration, para eliminar las numerosas variedades de áfidos, polillas, coleópteros, orugas y otros insectos y parásitos que viven a expensas de las plantas cultivadas y que las destruyen (en un principio tales sustancias fueron creadas para luchar contra los insectos que causaban la malaria).

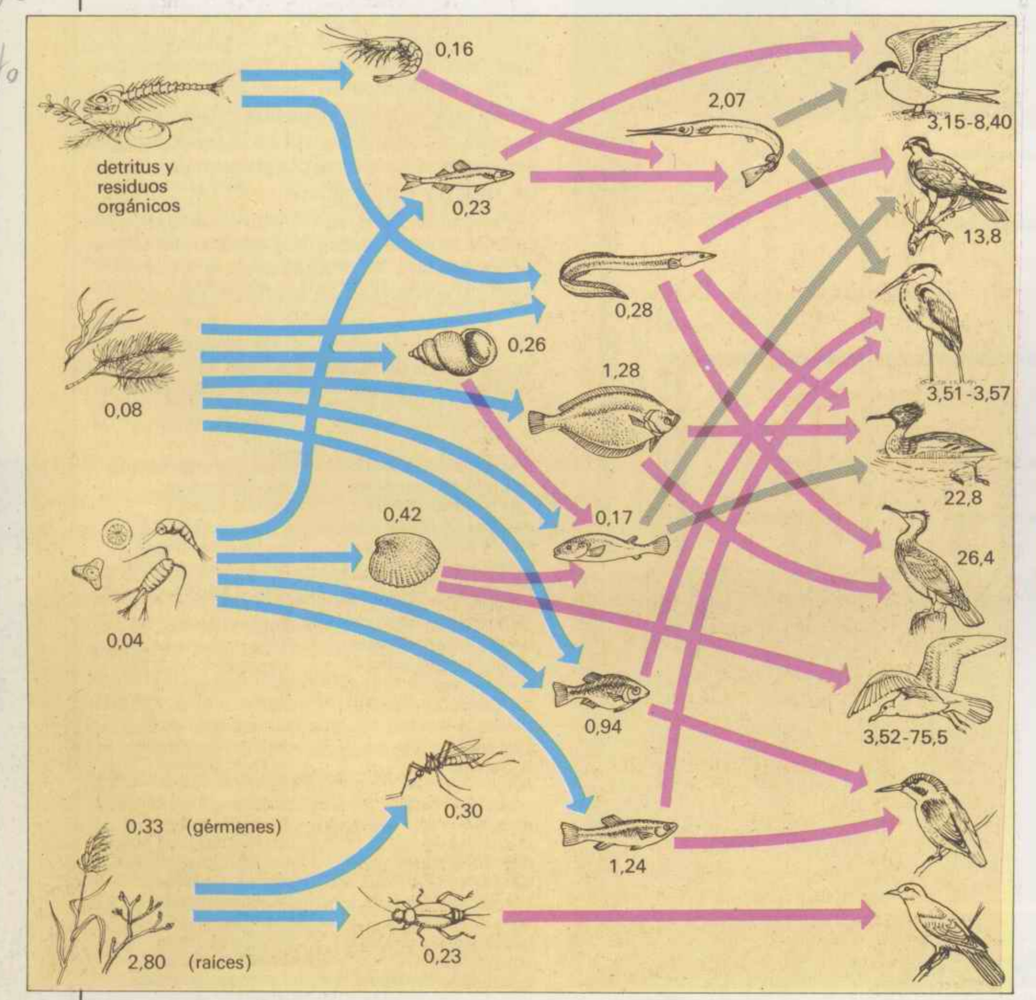
Aunque todos estos insecticidas hayan sido fabricados después de 1940, el tratamiento de las plantas con productos químicos no es del todo nuevo. Ya en el año 1800 los cultivos de patata en Estados Unidos, y más tarde en Europa, fueron destruidos por un insecto llamado *escarabajo de Colorado,* que primero atacó los cultivos de patata implantados por los mineros de Colorado y después se propagó por todo el país. En 1887 se consiguió por fin acabar con este escarabajo esparciendo compuestos químicos que contenían arsénico en forma de arseniato de calcio y arseniato de plomo.

Descubrimiento del DDT El DDT (dicloro-difenil-tricloroetano) no es un compuesto que se encuentre en la Naturaleza. Fue sintetizado por primera vez en el laboratorio en 1874; aunque hubo que esperar hasta 1942 para que Paul Müller, un científico suizo, descubriera el poder insecticida del DDT. En los años siguientes se fabricaron diversos tipos de insecticidas clorados (que contienen cloro ligado a un radical orgánico): la aldrina, el clordano, el dieldrin y la endrina, por citar sólo algunos de ellos. Por el descubrimiento del poder insecticida del DDT, Paul Müller obtuvo el Premio Nobel en 1948, lo que da idea de su importancia.

Los insecticidas se clasifican de acuerdo con la forma en que actúan. Los que operan *por vía interna* deben ser ingeridos por el insecto para llevar a cabo su misión. Los compuestos a base de arsénico utilizados en el siglo XIX son ejemplos de dicha modalidad. Los insecticidas venenosos *por contacto* son, por el contrario, absorbidos a través de la superficie externa de los insectos. Estos insecticidas son eficaces contra los áfidos (pequeños insectos que chupan la savia de las plantas). Los insecticidas clorados (DDT y compuestos similares) y los compuestos orgánicos del fósforo (como el paration) son ejemplos de insecticidas que actúan por contacto. Una vez absorbidos, destruyen el sistema nervioso del insecto, causándole la muerte. Los insecticidas sistémicos envenenan la savia de las plantas y matan a los insectos que se alimentan de ellas. El schradan, compuesto orgánico a base de fósforo, fue el primer insecticida sistémico.

Peligros Desde que el DDT y los demás insecticidas empezaron a ser utilizados en los años cuarenta, la producción de muchas explotaciones agrícolas se duplicó. Los nuevos insecticidas juegan un papel fundamental en el desarrollo de la agricultura mundial: es lo que se conoce como "revolución verde." Enfermedades como la malaria, la fiebre amarilla y el tifus fueron prácticamente eliminadas con el empleo de los insecticidas. Pero, por otro lado, la utilización de los mencionados productos químicos lleva aparejados serios problemas.

En los años cincuenta, era ya necesario emplear cantidades dobles, triples o incluso mayores de DDT para conseguir los mismos resultados obtenidos anteriormente en la lucha contra los insectos. El problema se debía a que se habían empezado a desarrollar nuevas razas de insectos resistentes a la acción de los insecticidas. Una raza de insecto que tuviera sólo un gen diferente podía no ser atacada por los venenos y de este modo se reproducía aumentando su población. Así se hicieron frecuentes los grandes desarrollos de poblaciones resistentes a las que no afectaban los insecticidas. En realidad, los plaguicidas, siendo venenosos para muchas especies de animales, eliminaban también, junto a los insectos nocivos, a sus enemigos naturales. Con la destrucción de





sus enemigos —eliminados directamente o muertos de hambre por falta de alimentación—, los pocos insectos dañinos que sobrevivían o las nuevas razas resistentes que aparecían por mutación eran seleccionadas positivamente por el insecticida y podían reproducirse rápidamente originando una población todavía más numerosa que la que existía antes del tratamiento químico.

Las consecuencias más graves del empleo masivo de los insecticidas se debieron a su efecto sobre la salud de la fauna y del propio hombre. El DDT y los compuestos similares no son fácilmente de-

En las grandes industrias químicas se estudian fórmulas que sean más eficaces, y a la vez menos dañinas para el ambiente, en la lucha contra los parásitos. Las ventajas de estos productos se oscurecen debido a los inconvenientes derivados de un empleo no adecuado, como se puede ver en el racimo de uvas con quemaduras producidas por uso indebido de un anticriptogámico. Abajo, aspersión de anticriptogámicos en un cultivo de frutales.

gradables. Después de haber sido esparcidos sobre los cultivos, son absorbidos por el suelo o transportados por la lluvia y por los ríos hasta los océanos. Los gusanos de la tierra, que no son atacados por el DDT, pueden absorber una gran cantidad del mismo, y así, cuando los pájaros se comen uno de estos gusanos, mueren envenenados. Cantidades bajas de DDT y de otros insecticidas en los océanos pueden destruir poblaciones de moluscos, cangrejos, peces y mamíferos acuáticos.

También puede resultar alterado el sistema de reproducción de muchos pájaros depredadores que se alimenten de peces, insectos o cualquier otro tipo de animales que contengan DDT en su organismo. Los pelícanos y algunas especies de águilas y de halcones que han ingerido DDT ponen huevos con cáscara más fina de lo normal, que a menudo se rompe antes de la eclosión natural, malográndose y disminuyendo así la población de los pelícanos pardos, de las águilas doradas y de otras aves depredadoras.

En los años sesenta, cuando se concluyó que el DDT tenía tales efectos dañinos, se limitó por ley su empleo en Estados Unidos y en Canadá; en Suecia fue totalmente prohibido. En tanto no se descubran otras alternativas contra los insectos dañinos, los insecticidas y plaguicidas son aún indispensables.

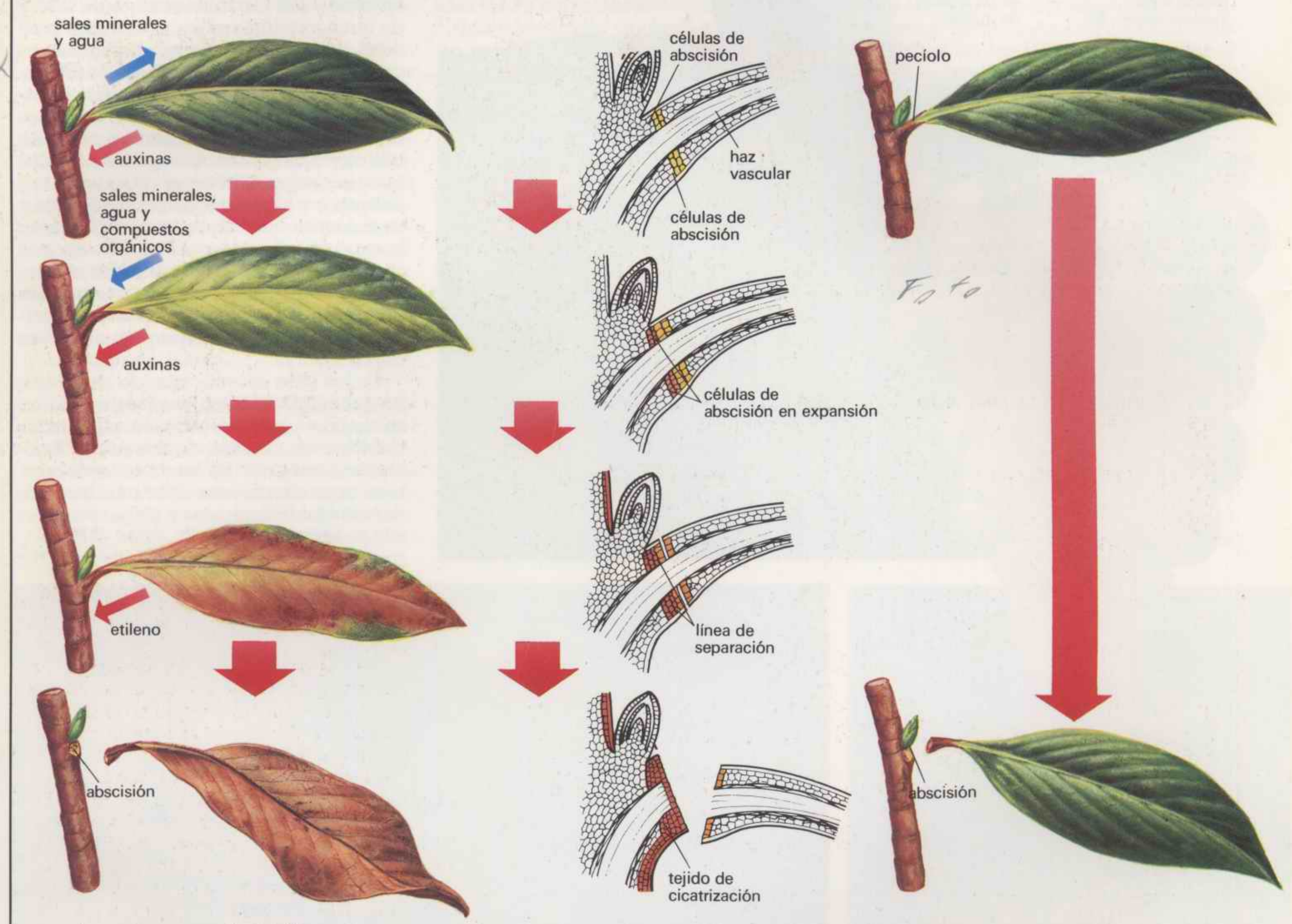
Véase **Defoliantes; Insectos, control biológico**



El esquema de la página anterior muestra cómo el DDT sube a lo largo de la cadena trófica, entrando en el ciclo ecológico de diversos animales. Los datos se han extraído de un estudio sobre la contaminación por DDT llevado a cabo en el estuario de Long Island, Estados Unidos. Como se puede observar, el DDT presente en detritus y plantas llega hasta los pájaros. Los números indican la concentración en partes por millón de DDT encontradas en los individuos animales y vegetales examinados. Aquí arriba, un aspecto de la intervención antiparasitaria a favor de ciertas plantas: los árboles han recibido una óptima protección al ser recubierta adecuadamente su estructura mediante pulverización con una mezcla de polisulfuros de bario.

Defoliantes

Técnicamente hablando, los defoliantes propiamente dichos son productos químicos que provocan la caída de las hojas, mientras que los desecantes producen la muerte de la planta entera, desde las raíces hasta las hojas. La diferencia química entre estos dos productos no es rigurosa, si bien se suele denominar *defoliantes* a los primeros y *herbicidas* a los segundos.



Los defoliantes químicos intervienen sobre el mecanismo fisiológico de la célula, amplificándolo. En los procesos naturales, al marchitarse la hoja, la hormona auxina disminuye su concentración en favor de la de etileno. El flujo de sales minerales, agua y compuestos orgánicos se dirige hacia el tallo desde la hoja, volviendo a estar a disposición de la planta. Un estrato de células de abscisión responde al contenido creciente de etileno separando el pecíolo a nivel de las células suberizadas, de función cicatrizante, y la hoja se cae. Los defoliantes están hechos a base de auxinas sintéticas que favorecen la producción de etileno. Como el etileno se difunde más que las auxinas naturales, la mayor parte de la hoja queda expuesta al etileno, determinando la inmediata y precoz separación del pecíolo.

Empleo de los defoliantes Los defoliantes tienen un papel primordial en la agricultura. Los árboles frutales, por ejemplo, pueden ser rociados con defoliante pulverizado para disminuir el número de frutos. Así, los frutos que quedan, al tener más alimento para ellos solos, crecerán más y serán más apreciados en cuanto a su valor comercial.

Los defoliantes pueden también ser empleados para favorecer los aspectos mecánicos de la recolección. Los campos de algodón, por ejemplo, son habitualmente irrigados con estas sustancias para que se caigan las hojas y vayan al suelo en vez de quedar en la máquina cosechadora, que de esta manera sólo recoge los capullos de algodón.

Algunos compuestos químicos se utilizan para matar las malas hierbas. Generalmente actúan de modo selectivo, atacando solamente a ciertas especies vegetales. Por esta razón, las gramíneas cultivadas sobreviven a los herbicidas que se esparcen en los prados para eliminar los dientes de león y otras malas hierbas. Los dos herbicidas más comunes son el ácido 2,4 dicloro y el 2,4,5 triclorofenoxiacético.

Estos son los ingredientes activos en los defoliantes, así como en el conocido agente *Orange* utilizado por el Ejército norteamericano (en concentraciones mucho más altas que las autorizadas en los Estados Unidos) para destruir la maleza y las cosechas en Vietnam, con lo que se buscaban dos objetivos militares: reducir las fuentes de aprovisionamiento de alimento de los enemigos y disminuir la espesura de la vegetación que hacía difícil el control aéreo de las carreteras. La presencia del contaminante TCDD (tetraclorodibenzoparadioxina) llevó a un grave estado de contaminación ambiental.

Cómo actúan los defoliantes Antes de la II Guerra Mundial, las sustancias químicas como el sulfato ferroso, el ácido sulfúrico y los compuestos de arsenio eran conocidos y utilizados para destruir las plantas. La mayor parte de estas sustancias eran herbicidas.

Después de la guerra se sintetizaron nuevos productos químicos que eran altamente eficaces aunque se utilizaran en cantidades menores.

El desarrollo de estos productos está ligado al descubrimiento de que el etileno —un hidrocarburo gaseoso, producto de la combustión parcial del carbón y de la destilación del petróleo— es también sintetizado por las plantas y funciona como hormona reguladora del crecimiento asociado a la maduración del fruto. Llevando a cabo experimentos con otras hormonas naturales de la planta (cada una de las cuales controla un aspecto diferente del crecimiento), los científicos han llegado a

conocer numerosas informaciones sobre el proceso de crecimiento de los vegetales. Han descubierto, entre otras cosas, que ciertas hormonas que normalmente estimulan el crecimiento pueden, por el contrario, inhibirlo si se encuentran en cantidades excesivas.

Otros experimentos similares han proporcionado a los científicos valiosas informaciones para efectuar "mezclas de hormonas", que pueden alterar totalmente la actividad hormonal normal de la planta, provocando su marchitez. Estas mezclas de hormonas han sido sustituidas por sustancias sintéticas, más fáciles de obtener y más económicas. A diferencia de los primeros herbicidas, que mataban a la planta al entrar en contacto con sus células, los nuevos productos químicos hormonales actúan sobre los procesos metabólicos de las plantas y son transportados a través del sistema conductor de éstas. A pesar de que el mecanismo de su actuación no es totalmente conocido, su efecto, en líneas generales, consiste en aumentar la velocidad de los procesos respiratorios, causando un rápido crecimiento de las células, que al proliferar inhiben la formación del floema (tejido responsable del transporte de sustancias a través de la planta). De este modo la hoja llega a ser adulta demasiado precozmente y, al faltarle el necesario aporte nutritivo procedente de la planta, se cae.


Grazia Neri

DEFOLIANTES INORGANICOS	CLORATOS DE MAGNESIO Y SODIO	utilizados como defoliantes en solución acuosa mediante irrigación
	CALCIOCIANAMIDA	utilizada como defoliante para el algodón. Cuando se aplica en polvo, actúa sólo si las hojas están húmedas
	ARSENITO DE SODIO	utilizado como herbicida. Uso limitado, dada su alta toxicidad para los mamíferos
DEFOLIANTES ORGANICOS	AMITROL	se utiliza en asociación con clorato de sodio y otros defoliantes
	DIQUAT	utilizado como herbicida para el control de las malas hierbas en cultivos de dicotiledóneas (como las leguminosas)
	PARAQUAT	utilizado como herbicida para el control de las malas hierbas en cultivos de gramíneas
	TTT	utilizado como defoliante para el algodón

La defoliación química tiene ya una aplicación agrícola sistemática en todas aquellas situaciones en las que la cantidad de hojas tiende a impedir la recolección mecánica del producto. Es el caso, por ejemplo, del cultivo del algodón. El algodón es una planta más bien pequeña de dimensiones y se presta bien a la recolección con máquinas. En la foto de la parte superior de la derecha se ven numerosas cosechadoras dispuestas a intervenir en una gran plantación después de que fuera provocada la caída de las hojas mediante irrigación con sustancias defoliantes. Una variante de estas sustancias permite también el control de la caída del fruto, que en el olivo, por ejemplo, se produce simultáneamente a la caída de la hoja.

Peligro de los defoliantes Llamado así a causa de la banda de color naranja que rodeaba los recipientes en que era transportado, el agente *Orange* fue uno de los defoliantes más empleados en la guerra del Vietnam. Después de ser rociado, el producto químico se depositaba no sólo sobre las plantas, sino también sobre el suelo y se infiltraba en el manto acuífero. A causa del agua contaminada y de las sustancias químicas inhaladas directamente del aire, los propios militares americanos estaban expuestos a altas concentraciones del agente *Orange*. Algunos de ellos tuvieron graves problemas de salud. Los daños registrados variaban entre exantemas de la piel hasta distintas formas de cáncer o mutaciones cromosómicas que se transmitían a los hijos. Sin embargo, la gravedad de los daños fue mayor para el pueblo vietnamita que vivía en las zonas contaminadas por los defoliantes químicos.

Una experiencia similar tuvo lugar en Italia como consecuencia de un accidente ocurrido en una fábrica que producía defoliantes, en Seveso (Milán), pero con daños menos aparentes.

Además de sus efectos directos sobre la salud humana, los defoliantes constituyen una seria amenaza para el ambiente. La saturación de defoliantes puede privar al suelo de elementos nutritivos y convertirlo en una dura masa de la consistencia de un ladrillo. Donde un tiempo atrás existían densas masas cultivadas, crecen sólo cañas de bambú, difundiéndose rápidamente y obstaculizando el desarrollo de cualquier otra forma de vegetación. Los riesgos ambientales por un uso excesivo de defoliantes van a veces acompañados de enormes pérdidas comerciales. Los defoliantes aplicados en una zona concreta pueden pasar a las zonas circundantes y destruir las cosechas.

Por diversos factores correlacionados entre sí y que conciernen a la protección del medio ambiente, de la salud pública y de la agricultura, existe una clara necesidad de limitar y controlar el uso de los defoliantes químicos.

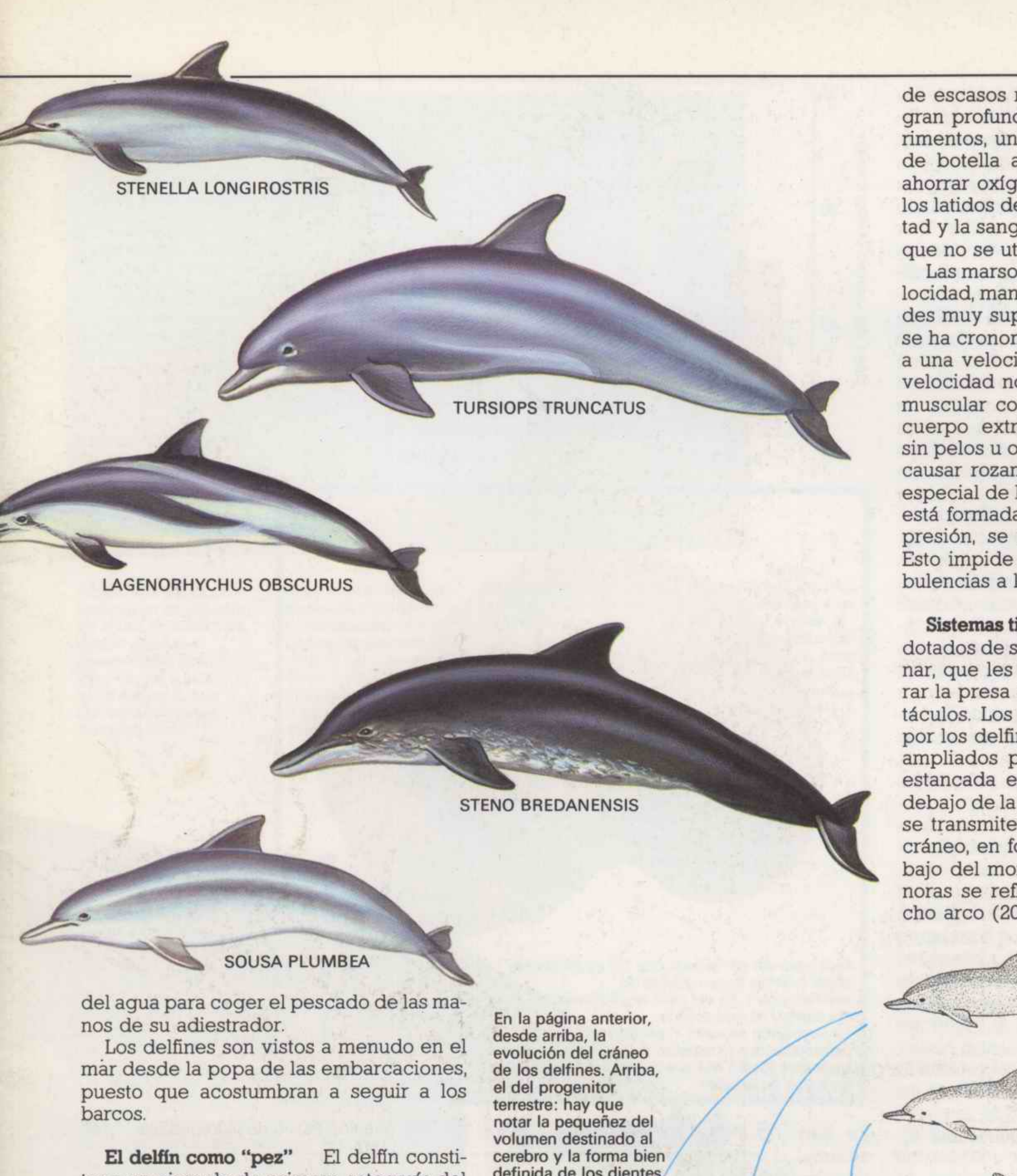
Véase **DDT y otros plaguicidas**

Delfín

En un día de sol, en el océano Pacífico oriental, un barco de pesca echa sus redes alrededor de un gran banco de atunes. Muchas marsopas, especie muy similar a los delfines, giran en las redes por encima de los atunes. El barco retrocede lentamente haciendo caer la parte más lejana de la red bajo la superficie del agua. Las marsopas se acercan rápidamente a la abertura para salir a nadar libremente en el mar abierto. La maniobra se conoce como *retroceso*. Esta u otras técnicas que se usan para librar a las marsopas son necesarias para proteger algunas especies de delfines que generalmente viajan junto a los bancos de atunes de aletas amarillas (también llamados *rabiles*) en las aguas del océano Pacífico oriental. Los barcos de pesca siguen a las marsopas para capturar los peces que ellas acompañan, y luego las dejan libres.

Muy conocidos por la popularidad de sus exhibiciones en los acuarios marinos, los delfines, que pertenecen al orden de los Mamíferos, son cetáceos como las ballenas. En cautividad, los delfines se muestran muy inteligentes y atléticos, aprendiendo fácilmente trucos complicados y saltando incluso hasta 7,5 m por encima

Un largo proceso evolutivo ha llevado a un pequeño animal terrestre a vivir en el mar hasta transformarse en el actual delfín. Abajo, a la izquierda (de arriba hacia abajo), primero la forma enteramente terrestre; debajo, la anfibia. La primera se remonta a hace unos 50 millones de años; por lo tanto su historia se desarrolla en el transcurso del período Terciario. La forma anfibia se alcanzó después de cinco millones de años, y otros tantos fueron necesarios para que se formara la característica cola con la aleta horizontal. Las sucesivas transformaciones se dieron en la dirección de afianzar su especialización, y se refieren al aumento de la masa cerebral y al nacimiento de una forma alargada del morro, con una dentadura diferente.



del agua para coger el pescado de las manos de su adiestrador.

Los delfines son vistos a menudo en el mar desde la popa de las embarcaciones, puesto que acostumbran a seguir a los barcos.

El delfín como "pez" El delfín constituye un ejemplo de primera categoría del proceso conocido por los científicos como *evolución convergente*: la semejanza evolutiva de especies diferentes. Aunque sea un mamífero de sangre caliente que amamanta a sus pequeños, a primera vista se parece más a un pez que a una vaca o incluso que a una foca. Las marsopas, los delfines y otros cetáceos son mamíferos que se han adaptado a la vida marina. Como los tiburones, las marsopas tienen un cuerpo hidrodinámico con una cola que funciona como rompeaguas, sencillos apéndices similares a las aletas y colocados en posiciones análogas, ojos grandes y una boca con numerosos dientes. A pesar de ello, a diferencia de los tiburones, el delfín, para respirar, toma el oxígeno del aire y por lo tanto debe subir a menudo a la superficie. Respira a través de una nariz y tiene una abertura nasal por la que arroja con fuerza el agua que traga.

Aunque tengan que salir a la superficie para respirar, algunos delfines, después de escasos minutos, logran sumergirse a gran profundidad. Durante algunos experimentos, un delfín con la nariz en forma de botella alcanzó los 300 metros. Para ahorrar oxígeno durante las inmersiones, los latidos del corazón se reducen a la mitad y la sangre apenas riega los músculos que no se utilizan en la inmersión.

Las marsopas nadan también a gran velocidad, manteniendo a menudo velocidades muy superiores a los 30 km por hora; se ha cronometrado una orca que viajaba a una velocidad de 56 km por hora. Esta velocidad no depende tanto de la fuerza muscular como del hecho de poseer un cuerpo extremadamente hidrodinámico, sin pelos u otras formaciones que puedan causar rozamiento, y de la conformación especial de la piel. Su suave capa externa está formada, en un 80%, de agua y, bajo presión, se puede aplastar o extender. Esto impide que se formen sacos de turbulencias a lo largo del cuerpo.

Sistemas tipo sonar Los delfines están dotados de sistemas direccionales tipo sonar, que les dan la posibilidad de capturar la presa en la oscuridad y evitar obstáculos. Los sonidos tipo sonar emitidos por los delfines son tintineos ultrasónicos ampliados por las vibraciones del agua estancada en las cavidades nasales por debajo de la abertura nasal. Estos tintineos se transmiten a través de los huesos del cráneo, en forma de lente, colocados debajo del morro del animal. Las ondas sonoras se reflejan y dirigen por un estrecho arco (20°) delante del delfín. Los im-

En la página anterior, desde arriba, la evolución del cráneo de los delfines. Arriba, el del progenitor terrestre: hay que notar la pequeñez del volumen destinado al cerebro y la forma bien definida de los dientes. Esto se ve también en el segundo cráneo. A partir del tercero, el volumen destinado al cerebro es ya mayor. Ya en esta página, arriba, cinco especies muy difundidas de delfines de los distintos océanos. Pero además de éstas hay otras veinticinco especies más. A la derecha, un grupo de delfines, en cautividad desarrolla una jerarquía de dominio con actos de agresividad. En la figura, los delfines que miran hacia la izquierda son machos, los que miran hacia la derecha son hembras (sólo dos). Las flechas indican los actos hostiles, a pesar de los cuales el macho de abajo ha logrado emparejarse.

pulsos vuelven hacia atrás, al delfín, reflejados por los objetos (en realidad las ondas sonoras chocan con los obstáculos y al volver cambian ligeramente de dirección). Llegan al oído interno a través de la pared externa de la cabeza y de algunos estrechos canales llenos de aceite, que conducen el sonido desde las cavidades nerviosas cercanas al ápice de la mandíbula inferior. Aunque estos tintineos ultrasónicos están formados por más de 80 impulsos sonoros por segundo, el delfín puede distinguir entre los tintineos que está emitiendo y los ecos de las emisiones precedentes.

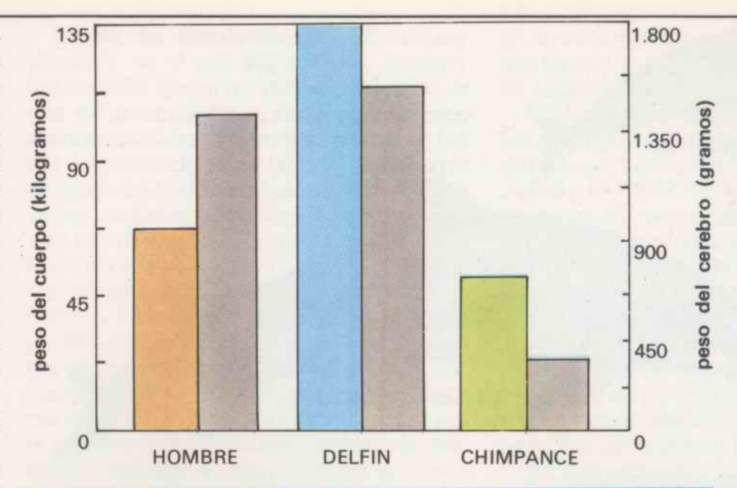
Además de los ultrasonidos usados para estos sistemas de eco, los delfines poseen una voz, que se puede incluso oír, formada de tintineos diferentes, zumbidos y silbidos. La cantidad de vocalizaciones emitidas por el animal ha llevado a algunos investigadores, a cuyo frente está John Lilly, a creer que los delfines poseen un lenguaje y son muy inteligentes. Actualmente existen bastantes estudios que intentan tanto enseñar a los delfines un lenguaje como traducir el suyo. Aunque los delfines se encuentran ciertamente entre los animales más inteligentes, tanto la medida de su inteligencia como la existencia de un lenguaje cualquiera están aún a la espera de pruebas científicas suficientes.

Los delfines y el hombre Desde tiempos antiguos el hombre ha tenido una consideración especial por el delfín; en algunas civilizaciones se cree que matar a un delfín trae mala suerte. Su carácter dócil es legendario; efectivamente, existen gran cantidad de viejas historias y sucesos recientes que nos cuentan anécdotas de delfines que llevan a las personas hasta la orilla y las salvan si están a punto de ahogarse.

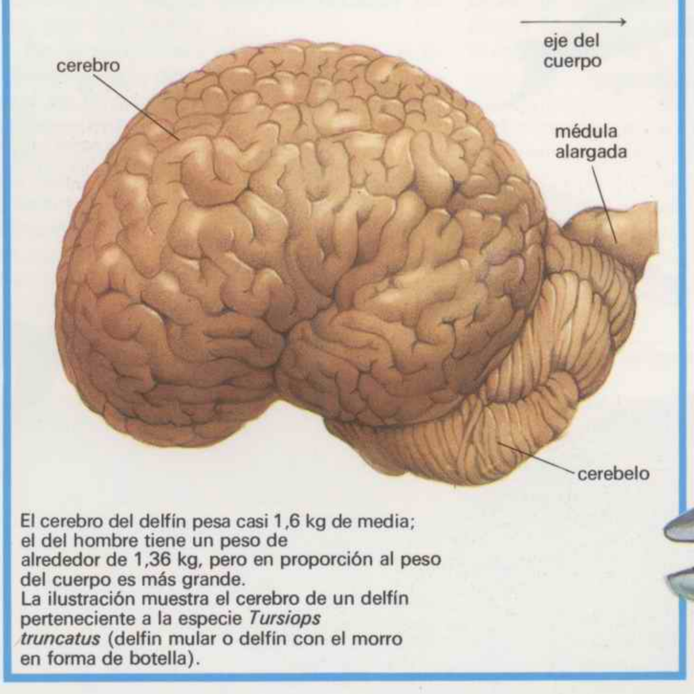
La Marina norteamericana ha estudiado la posibilidad de utilizar a los delfines en varias actividades. La actitud de sectores de la opinión pública oponiéndose a la utilización de los delfines para actividades en las que estos animales arriesgan su vida ha limitado notablemente este tipo de investigaciones. De todas formas se realizan todavía operaciones en las que los delfines son utilizados para el transporte de aparatos y para efectuar salvamentos. Orcas y ballenas, en experiencias piloto, han sido adiestradas para recuperar aparatos perdidos a gran profundidad.

Los delfines más comunes son los que tienen la nariz en forma de botella (*Tursiops*). Estos animales, que alcanzan casi los 4 metros de largo, se portan muy bien en cautividad y gran parte de nuestro conocimiento sobre el comportamiento de la especie viene de su observación. A esta especie pertenecen generalmente los delfines que realizan acrobacias y se exhiben en los acuarios marinos; uno de éstos actuó incluso en la serie de televisión norteamericana *Flipper*.

A veces los delfines de nariz en forma de botella se acostumbran a acercarse a las personas. A comienzos de 1888, un delfín llamado *Pelorus Jack* alcanzó fama mundial al acompañar generalmente a los barcos de vapor que entraban y salían del puerto de Nueva Zelanda. Este comportamiento, que duró 24 años, hizo que la población local hiciese promulgar una ley con el fin de proteger a la especie que frecuentaba esas aguas. Más recientemente, en 1955, una joven hembra llamada *Opo* adoptó unos cachorros en el puerto de Hokianga, en Nueva Zelanda, y los condujo con ella llevándolos en la grupa. Los delfines constituyen un "grupo" pacífico y amigable. Sólo tienen un lejano pariente temible: la orca (*Orcynus orca*). La orca es blanca y negra; tiene una aleta dorsal más alta que la de los demás cetáceos y que puede alcanzar una longitud de 2 metros en el macho adulto (la orca alcanza los 9 metros de largo). Esta especie vive en grupos ("pods") y caza focas, pingüinos, peces y otros cetáceos. Una de sus técnicas típicas de caza consiste en lo siguiente: la orca se acerca a un témpano de hielo sobre el que está descansando una foca, se sumerge y después, de improviso, pro-

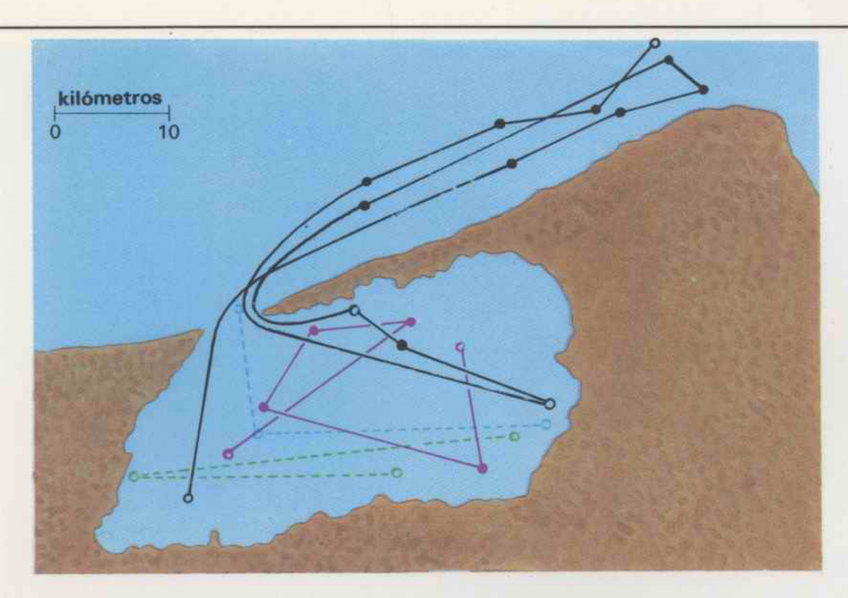


A la derecha, movimiento de los delfines en una bahía de la costa argentina del Atlántico meridional. A estos animales se les había aplicado unos radio-transistores. Durante algunos días se siguieron sus movimientos con el apoyo de barcos y desde puntos fijos en tierra. Los movimientos de los animales fueron tales que explotaron tanto el interior como el exterior de la bahía, pero sólo cerca de la costa rica en alimento.



El cerebro del delfín pesa casi 1,6 kg de media; el del hombre tiene un peso de alrededor de 1,36 kg, pero en proporción al peso del cuerpo es más grande. La ilustración muestra el cerebro de un delfín perteneciente a la especie *Tursiops truncatus* (delfín mular o delfín con el morro en forma de botella).





Abajo, una pareja de delfines en movimiento en aguas de superficie, donde alternan la natación con breves inmersiones y saltos fuera del agua. Los pulmones de estos animales están capacitados para una respiración profunda y completa. Los delfines suelen desplazarse unos al lado de los otros, en bancos compactos. A pesar de ello, aunque avancen velozmente no corren el riesgo de perderse, puesto que se mantienen en contacto por medio de señales de ultrasonidos. En el recuadro destacado se observa cómo está formado el órgano que recibe dichos sonidos en el murciélago y en el delfín. También el mamífero volador utiliza los ultrasonidos, como el delfín, pero el agua los transmite mejor y a mayor distancia que el aire.

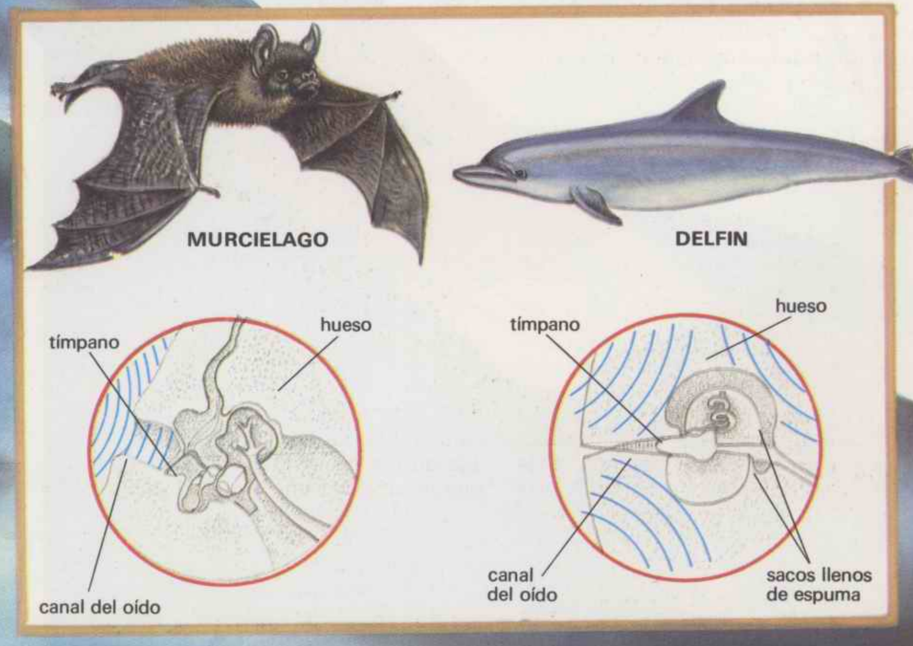
voca una ola que hace volcar el témpano de hielo de tal manera que la infortunada foca resbala al agua. La orca en cautividad es sorprendentemente dócil, cariñosa e inteligente, como el delfín de nariz en forma de botella.

El delfín común, *Delphinus delphis*, es el cetáceo que se representa más a menudo en el arte antiguo de los países mediterráneos, a lo largo de cuyas costas se le puede encontrar con bastante facilidad. Su imagen se encuentra en antiguas monedas; incluso está pintado en el Fresco de los Delfines, en Creta, que se remonta a 1.600 años antes de Cristo. Este delfín alcanza los 2,5 metros y tiene el dorso oscuro. Los flancos blancos centellean y se pueden ver fácilmente en sus frecuentes saltos fuera del agua.

Los delfines rodantes (*Stenella longirostris*) y los delfines vigía (*Stenella attenuata*), que a menudo acompañan a los bancos de atunes, se parecen al delfín común. Frecuentemente viajan en grupos formados por varios centenares de ejemplares, a veces millares. Los delfines rodantes se llaman así por su costumbre de realizar giros sobre sí mismos mientras saltan.

Probablemente los cetáceos más raros sean los delfines de agua fría de Asia y de América del Sur. Estos animales se mueven lentamente y se encuentran en el fondo de aguas fangosas. Emplean como guía sensorial, en el ambiente que los rodea, los rígidos pelos del morro largo y estrecho, y puesto que las vértebras de su cuello no están unidas como las de la mayor parte de los cetáceos, se hallan en condiciones de poder girar la cabeza. El susú (*Platanista gangetica*) de la India es la única especie ciega de delfín; además, nada de costado en vez de hacerlo boca abajo.

Véase **Cetáceos**



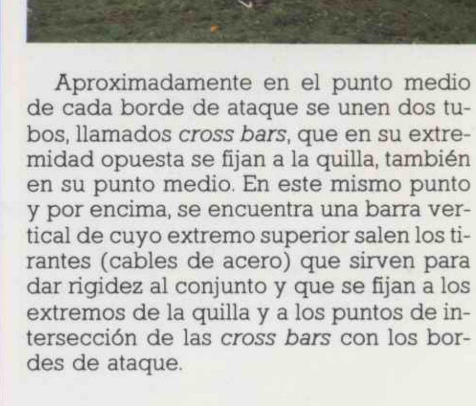
Delta, ala

La milenaria aspiración del hombre de librarse de las ataduras de la tierra y evolucionar libre en el aire con un simple par de alas como los pájaros, aspiración y sueño que ha dado origen a mitos como el de Icaro, o a proyectos más concretos como los de Leonardo en el siglo XV, ha encontrado una reciente realización a mediados del siglo XX, cuando en California, en la década de los cincuenta, comenzaron a volar las primeras alas delta. Desde finales del siglo XIX el ingeniero alemán Otto Lilienthal comenzó a construir planeadores que pilotaba personalmente, encontrando la muerte en uno de dichos vuelos. Actualmente, a partir de un proyecto de Francis Rogallo (técnico de la NASA) para un sistema de sustentación basado en unas alas de tela plegables que debían servir para sustituir los paracaídas de frenado utilizados por los vehículos espaciales en el último tramo de su reentrada en la atmósfera, el deporte del vuelo libre ha alcanzado una notable difusión.



La estructura El ala delta está constituida por una estructura tubular sobre la cual se extiende la superficie sustentadora formada por una tela de dacrón (material utilizado en la confección de las velas de las embarcaciones deportivas). Los tubos que sostienen la vela son metálicos, más concretamente de aleaciones ligeras: un tubo central, llamado *quilla*, en cuya extremidad anterior se unen otros dos tubos que actúan como bordes de ataque de cada una de las dos partes en que está dividida la vela (ala) según su eje longitudinal (quilla).

Arriba, a la derecha, puede verse un ala delta en vuelo tomada desde la ladera de lanzamiento. En el centro, a la derecha, una vez efectuado el aterrizaje se verifica el buen estado de todos sus componentes. Bajo estas líneas se muestra un ultraligero. El coeficiente de planeo de un ultraligero es más bien bajo, debido al escaso rendimiento del ala. Sin embargo, mejorando un poco el diseño del ala, el coeficiente de planeo mejora, y el ultraligero, aunque el motor sea de escasa potencia, se transforma en un avión capaz de elevarse por sí mismo y de recorrer largos trayectos. Su baja velocidad y la escasa cota de vuelo hacen que sea un aparato seguro y fácil de pilotar.



Aproximadamente en el punto medio de cada borde de ataque se unen dos tubos, llamados *cross bars*, que en su extremidad opuesta se fijan a la quilla, también en su punto medio. En este mismo punto y por encima, se encuentra una barra vertical de cuyo extremo superior salen los tirantes (cables de acero) que sirven para dar rigidez al conjunto y que se fijan a los extremos de la quilla y a los puntos de intersección de las *cross bars* con los bordes de ataque.

La relativa simplicidad del ala delta se muestra en el dibujo de la página siguiente, en el que pueden apreciarse algunas de sus características. La estructura es simple y ligera y se mantiene unida mediante varios tirantes de acero, que son imprescindibles para garantizar la rigidez del armazón. Otra característica importante y que se distingue en el dibujo es la posición del piloto y su atalaje, que permite los desplazamientos del cuerpo, necesarios para dirigir el vuelo del aparato.

Por debajo hay una estructura trapezoidal a la que se agarra el piloto, cuyo cuerpo, que en vuelo equilibrado se encuentra en posición aproximadamente horizontal, es sostenido por un atalaje que sujeta sus hombros, caderas y piernas. La superficie sustentadora es extendida, fijándola a los bordes de ataque y a la quilla. En vuelo, debido a la acción aerodinámica del viento relativo, la vela se infla y toma el característico aspecto de dos semiconos, con las superficies externas vueltas hacia arriba y con el vértice y una generatriz en común.

El pilotaje del ala delta se efectúa principalmente mediante el desplazamiento del cuerpo. El piloto, asiendo con sus manos la barra horizontal del trapecio, realiza esta maniobra sin esfuerzo. Atrae hacia sí el trapecio para picar y lo desplaza hacia adelante para ascender. Para girar debe desplazar su cuerpo hacia la derecha o hacia la izquierda, de acuerdo con la dirección del giro que desea realizar. Para despegar, lo normal es que el piloto lo haga con sus propias piernas, corriendo durante unos pocos metros por una ladera, lanzándose por un acantilado o partiendo de cualquier punto elevado que le permita emprender el vuelo sin tropezar con ningún obstáculo. Las alas delta usuales tienen un peso inferior a los 30 kg y una carga alar, es decir, la relación entre el peso total del aparato y la superficie aerodinámica del mismo, inferior a 10 kg/m^2, consiguiendo una velocidad mínima de sustentación, llamada *velocidad de pérdida*, que no suele sobrepasar los 20 kilómetros por hora.

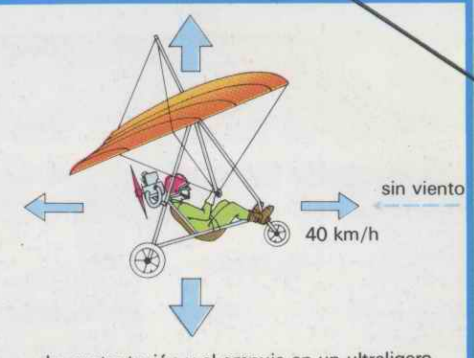
Algunos tipos de alas delta tienen motor, son los llamados *ultraligeros*; en este caso el piloto se libera de la necesidad de tener un punto de lanzamiento favorable y de utilizar corrientes ascensionales (térmicas) para ganar altura.

Regulación legal El deporte del vuelo libre ha conseguido reunir en los últimos años un gran número de aficionados. Esto ha exigido la creación, en numerosos países, de una legislación que regule y organice la práctica de este apasionante deporte.

Véase **Planeador; Vuelo con energía humana**

Las fuerzas que actúan sobre el ala delta la mantienen en equilibrio durante su planeo. En el dibujo se muestran las fuerzas que actúan sobre el ala en el momento del despegue.





La sustentación y el empuje en un ultraligero son mucho mayores que en el ala delta. Aunque la potencia del motor es pequeña, permite el despegue sin ayuda del viento. La configuración de vuelo debe ser calibrada cuidadosamente por el piloto.

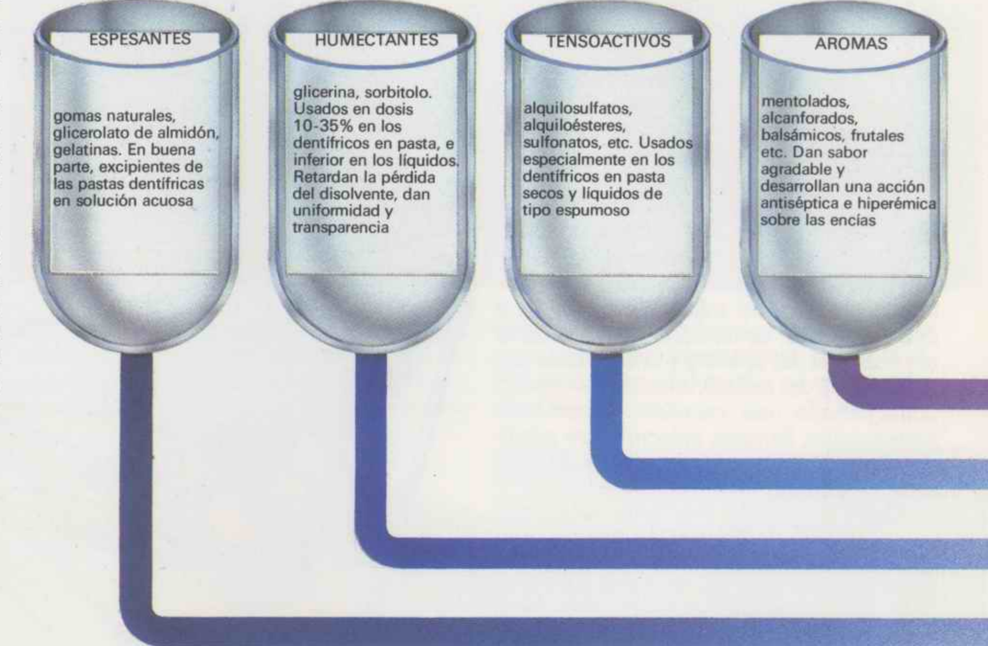
Dentífrico

La limpieza de los dientes por medio de sustancias abrasivas (piedra pómez, carbón de leña, arcilla, cartílagos de sepia, yeso) se remonta a por lo menos cuatro mil años atrás. En los tiempos antiguos se pensaba que era necesaria una gran fricción, y esto dañaba el esmalte de los dientes. Entre los métodos usados por los antiguos egipcios se encontraba la aplicación de una mezcla a base de incienso, plomo verde y cobre (cobre oxidado). En China se trituraban los huesos de los peces y con el polvo resultante se frotaban los dientes a modo de una primitiva pasta dentífrica. En la Edad Media la medicina árabe descubrió que los abrasivos, y de modo especial la piedra pómez y la arena, producían daño a los dientes. Por entonces, los europeos recurrían a potentes ácidos para eliminar las manchas superficiales de los dientes, método que se mantuvo hasta los inicios del presente siglo.

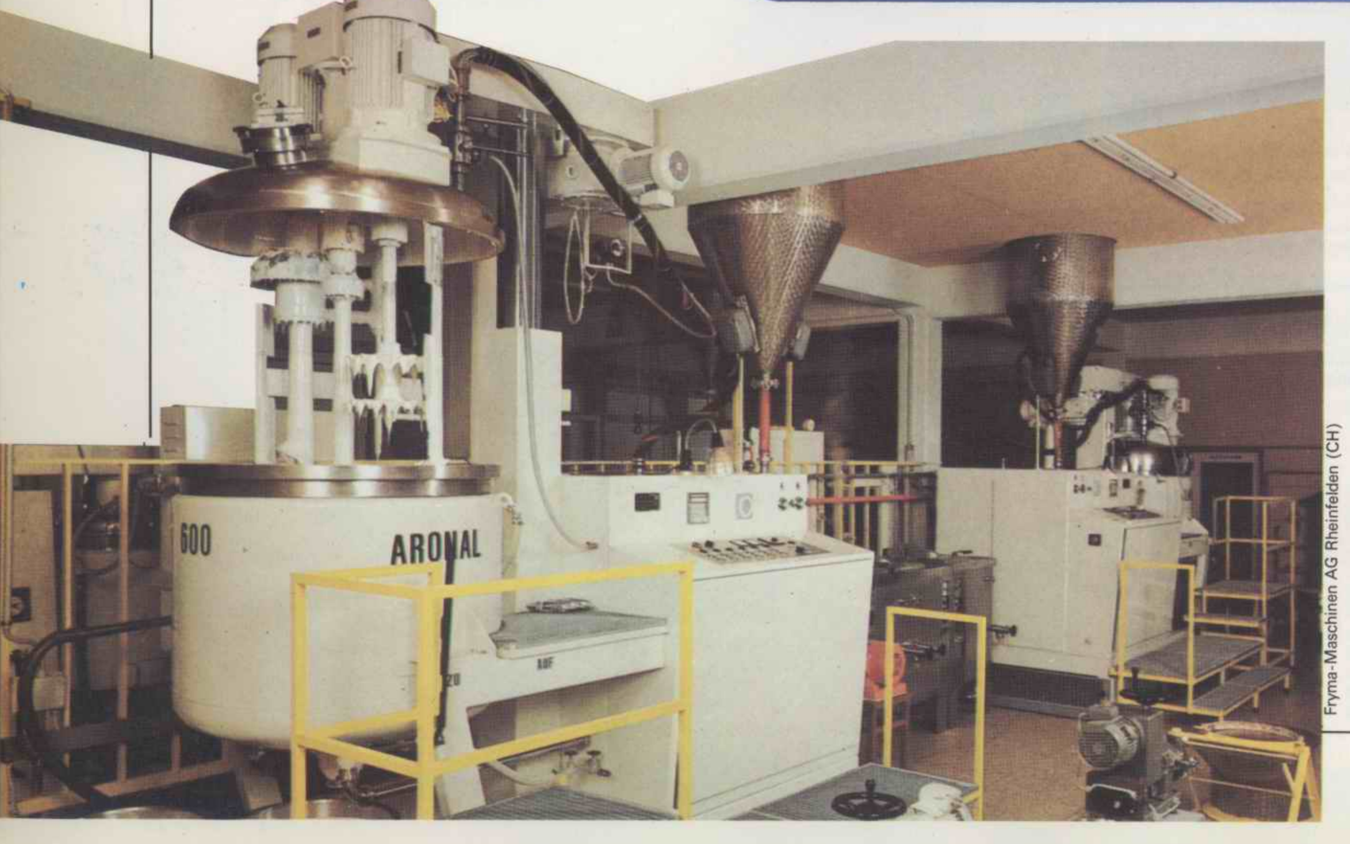
El dentífrico moderno Las pastas dentífricas actuales (coloreadas artificialmente y endulzadas con sacarina) están constituidas generalmente por un abrasivo, un espesante, un tensoactivo y sustancias que le dan un gusto particular. A menudo se añade flúor para reducir las caries dentales. En efecto: algunas investigaciones han demostrado que la pasta fluorada previene realmente la formación de cavidades (carie dental o destrucción de los dientes causada por la implantación y proliferación de bacterias).

Sin embargo, tan importante o más que el tipo de pasta que se emplea, de entre las autorizadas por los organismos sanitarios, es realizar una limpieza de los dientes completa, enérgica y frecuente. Para ello, conviene hacer uso periódico del hilo interdental para remover las partículas de alimento que encajan entre los dientes, y también de los aparatos que impulsan a presión un chorro de agua sobre los dientes y entre diente y diente. Algunos consideran que una mezcla de bicarbonato de sodio-peróxido usada como dentífrico ayuda a prevenir y curar las afecciones del periodonto, sobre todo si después se efectúan enjuagues con agua salada y se la emplea juntamente al masaje gengival y al hilo interdental.

Dentífricos no conformes al estándar En el comercio existen muchas pastas y polvos dentífricos que contienen diversos ingredientes destinados a actuar de modos diferentes. El dentífrico para fumadores, por ejemplo, es abrasivo y su finalidad consiste en eliminar las manchas de nicotina presentes sobre el esmalte de los dientes. Algunas personas son contrarias al empleo del flúor, porque sostienen que esta sustancia se acumula en los huesos y puede tener efectos cancerígenos; por ello existen en el mercado muchos dentífricos que carecen de flúor. Determinados dentífricos contienen vitaminas y calcio, pero no existe ninguna prueba de que estas sustancias utilizadas así, mejoren los resultados particulares.



Abajo, instalaciones para la mezcla de los componentes de un dentífrico. Producir la pasta no es fácil, puesto que los componentes no son fluidos, lo que hace difícil obtener mezclas homogéneas, y ello a pesar de que los componentes han sido preparados con antelación realizando una trituración muy cuidadosa.

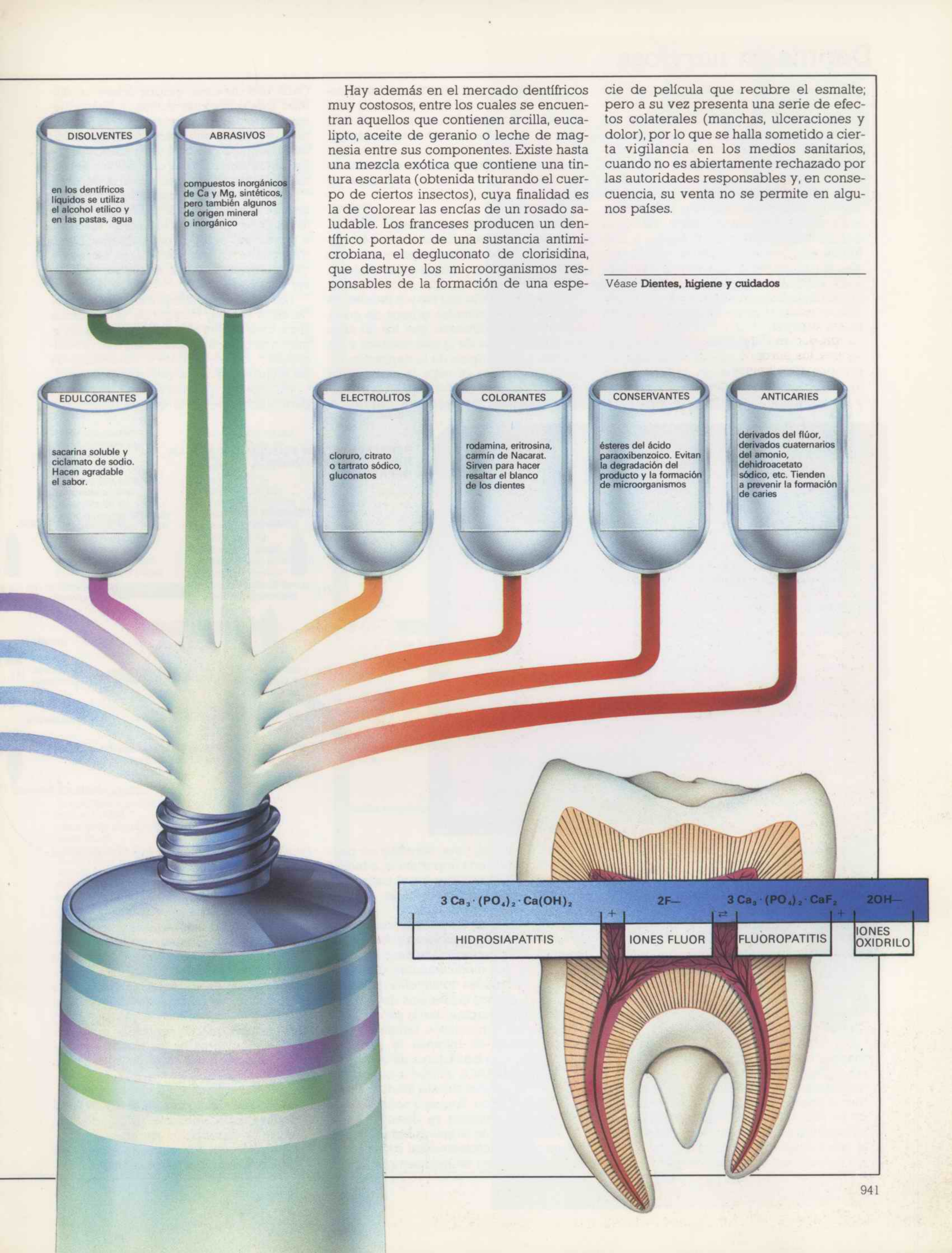


Fryma-Maschinen AG Rheinfelden (CH)

En la página siguiente, a la derecha, se esquematiza la actividad carioprofiláctica del flúor; éste transforma la hidroxiapatitis en fluoropatitis, que provoca un endurecimiento del esmalte. En las dos páginas, esquema de los componentes de un dentífrico. Algunos de éstos son los verdaderos agentes de la limpieza dental, otros desarrollan una acción medicamentosa, o preventiva sobre la caries; otros, por su parte, hacen agradable el sabor de la pasta. En los dentífricos para niños hay que tener presente la posibilidad de que éstos traguen pasta. Los dentífricos del pasado, aunque distintos, eran eficaces en algunos aspectos; uno de sus componentes era el carbón de abedul.

Hay además en el mercado dentífricos muy costosos, entre los cuales se encuentran aquellos que contienen arcilla, eucalipto, aceite de geranio o leche de magnesia entre sus componentes. Existe hasta una mezcla exótica que contiene una tintura escarlata (obtenida triturando el cuerpo de ciertos insectos), cuya finalidad es la de colorear las encías de un rosado saludable. Los franceses producen un dentífrico portador de una sustancia antimicrobiana, el degluconato de clorisidina, que destruye los microorganismos responsables de la formación de una especie de película que recubre el esmalte; pero a su vez presenta una serie de efectos colaterales (manchas, ulceraciones y dolor), por lo que se halla sometido a cierta vigilancia en los medios sanitarios, cuando no es abiertamente rechazado por las autoridades responsables y, en consecuencia, su venta no se permite en algunos países.

Véase **Dientes, higiene y cuidados**



Depresión nerviosa

Con el término *depresión* se designa una alteración del ánimo caracterizada por una abrumadora sensación de tristeza, de decaimiento, de inutilidad, de desconfianza en uno mismo y de sensación de culpa. En el individuo deprimido disminuye el apetito, el deseo sexual, la capacidad de concentración y la capacidad de tomar decisiones. El sujeto se siente abatido y desalentado, tiene una consideración muy pobre de sí mismo y, con frecuencia, comienza a pensar en el suicidio. Son síntomas frecuentes el insomnio y una lentitud progresiva al hablar y al caminar. En los casos más graves de depresión, el paciente se niega a moverse, a comer o a hablar.

Tiempo atrás la depresión era clasificada como parte de la psicosis maniaco-depresiva. Una persona en fase maniaca muestra síntomas de excitación creciente y de exaltación.

El término *maniaco-depresivo* ha sido acuñado para describir la situación de exaltación extrema y de depresión profunda. Sin embargo, sólo un pequeño porcentaje de los pacientes que presentan este trastorno emocional o afectivo pasan a través del ciclo completo; una gran parte de ellos alterna un estado normal con un estado maniaco o depresivo.

La depresión es la forma más frecuente de los trastornos psíquicos. Su curación puede tener lugar tras un período que varía entre 6 y 9 meses.

La depresión y la forma maniaca pueden ser consideradas como las dos caras de la misma moneda; muchos expertos consideran que ambas están psicológicamente relacionadas y que la fase maniaca no es más que un desesperado esfuerzo para sobrepasar una depresión latente. En la fase maniaca predominan las ilusiones, los pensamientos se suceden demasiado rápidamente como para llevar un transcurso lógico y el paciente pierde el sentido de la realidad. El insomnio y la falta de apetito conducen a un estado de agotamiento y, en el momento en que la fase maniaca disminuye, hace su aparición la fase depresiva y el ciclo comienza de nuevo.

Una enfermedad primaveral La depresión es una enfermedad más frecuente en las clases acomodadas que en las menos pudientes y afecta a las mujeres con doble frecuencia que a los varones.

No se ha hallado una mayor incidencia dentro de determinados grupos de edad, si bien puede afirmarse que los 30 años son la edad típica de la fase maniaca y los 50 años la edad típica de la depresión recurrente. Sin que se sepa la causa, y tal como ya observó Hipócrates, en la primavera aumentan los casos de depresión.

También los factores hereditarios pueden tener una cierta importancia; además, ha sido demostrado que en el transcurso de la enfermedad tienen lugar algunas transformaciones bioquímicas.

A comienzos de los años cincuenta comenzaron las investigaciones sobre el tratamiento de la depresión; se descubrió entonces que dos medicamentos, utilizados para enfermedades totalmente distintas, originaban efectos colaterales de tipo psicológico. La reserpina, usada para tratar a los pacientes hipertensos, tendía a originar depresión en quienes la tomaban, mientras que los inhibidores de la monoaminooxidasa (IMAO), utilizados para el tratamiento de la tuberculosis, tendían a producir estimulación. Tras esta serie de descubrimientos casuales se desarrolló una completa gama de fármacos basada en los denominados *antidepresivos tricíclicos* y en los *inhibidores de monoaminooxidasa*. Cada uno de estos grupos posee un distinto mecanismo de acción y tiene diferentes efectos colaterales, pero el resultado es el mismo: se restablece el equilibrio de la química cerebral y, en particular, de los neurotransmisores que envían las señales de las células nerviosas al cerebro.

A veces se utiliza una antigua forma de terapia: el electroshock o ESK, que consiste en hacer pasar una descarga eléctrica a través del cerebro del paciente. Es un tratamiento utilizado en casos extremos, cuyos resultados, sin embargo, pueden ser inmediatos.

Los fármacos antidepresivos son considerados casi un milagro de la Medicina. Hace unos treinta años eran desconocidos, mientras que en la actualidad han revolucionado completamente el tratamiento de las enfermedades psíquicas.

Un aspecto que merece ser destacado particularmente en lo que se refiere a la depresión es la creciente incidencia de tal enfermedad entre los jóvenes.

En algunos países hay emisoras radiofónicas que emiten, junto con las previsiones meteorológicas, previsiones biomédicas sobre las variaciones de humor; en Estados Unidos algunos investigadores están estudiando los efectos de los iones de la atmósfera sobre el estado de ánimo. Pero también causas relacionadas con la alimentación es posible que influyan en los estados depresivos. Se puede por lo tanto afirmar con toda seguridad que la investigación acerca de los estados depresivos experimentará nuevos desarrollos en el futuro.

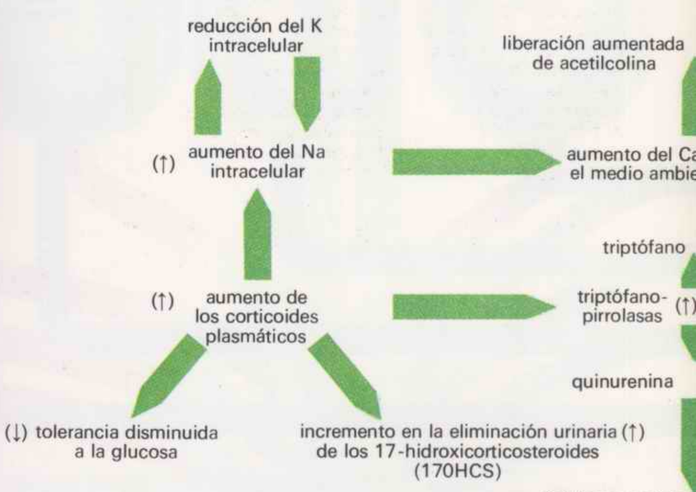
ELEMENTOS PARA LLEGAR AL DIAGNOSTICO DE LA DEPRESION

a) Pérdida del interés por todas o casi todas las actividades o pasatiempos, acompañada de depresión del humor o de trastornos en el humor como caracteres predominantes y relativamente persistentes.

b) Presencia de al menos cuatro de los siguientes síntomas, los cuales deben persistir durante un período mínimo de dos semanas:

1. disminución del apetito o excesiva pérdida de peso, o bien aumento significativo del peso;
2. Insomnio o hipersomnia;
3. agitación o enlentecimiento psicomotor;
4. pérdida de interés o de placer en las actividades habituales del deseo sexual;
5. fatiga fácil, pérdida de energía;
6. Sentimientos de inferioridad, desaprobación, culpa excesiva o no adecuada;
7. sensación de disminución de la capacidad para pensar y concentrarse, indecisión;
8. pensamientos reiterativos de muerte, ideas de suicidio, deseo de morir, intentos de suicidio.

REPRESENTACION ESQUEMATICA DE LA HIPOTESIS SEROTONINICA DE LA DEPRESION

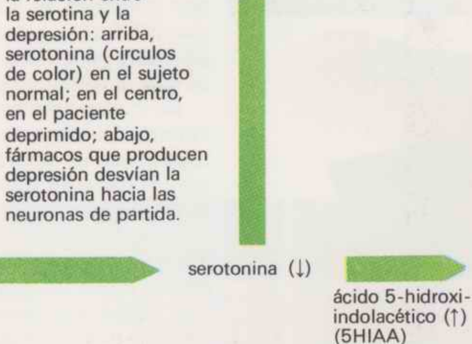


La hipótesis biológica en la enfermedad depresiva Un síndrome psiquiátrico es siempre la descripción de un comportamiento diferente con respecto a la norma y caracterizado por expresiones (sínto-

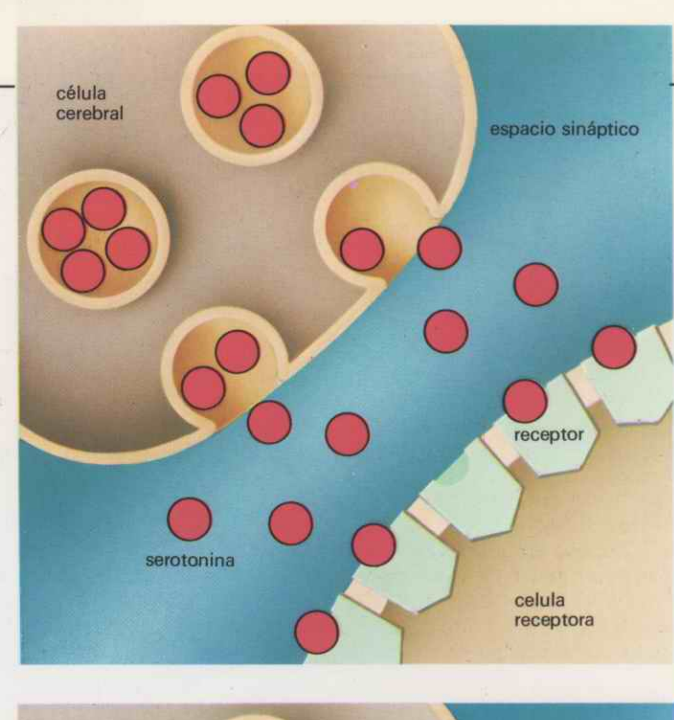
mas) que se encuentran asociadas entre sí. Esto es lo que sucede en la enfermedad depresiva.

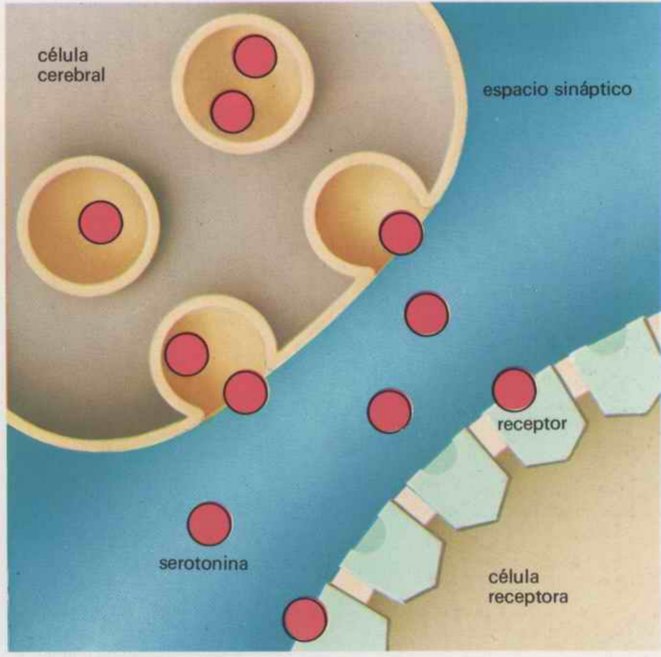
Se plantea ahora el problema de cómo es posible una hipótesis biológica para esta enfermedad. Y, por otro lado, ¿es posible realizar un estudio biológico de esta entidad que se manifiesta por alteraciones del comportamiento?

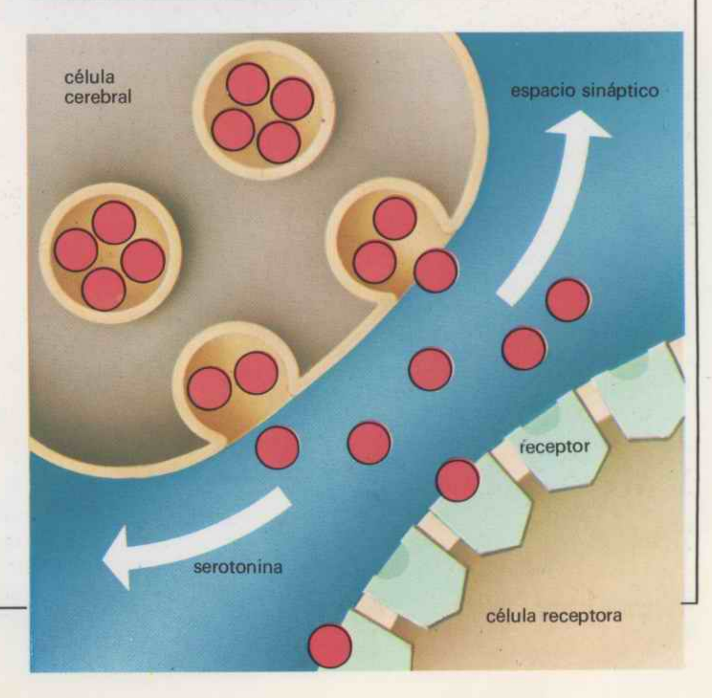
Las primeras hipótesis biológicas constituyen un intento de comprensión de la enfermedad mediante la medición de parámetros biológicos, hipótesis que presuponen, por tanto, la existencia de relaciones entre el comportamiento y el encéfalo, y en consonancia, entre la patología del comportamiento y las alteraciones cerebrales. Hoy en día ya nadie duda de la existencia de esas relaciones, si bien persisten muchos interrogantes en lo concerniente a las relaciones entre encéfalo y mente. Por el momento una hipótesis bio-

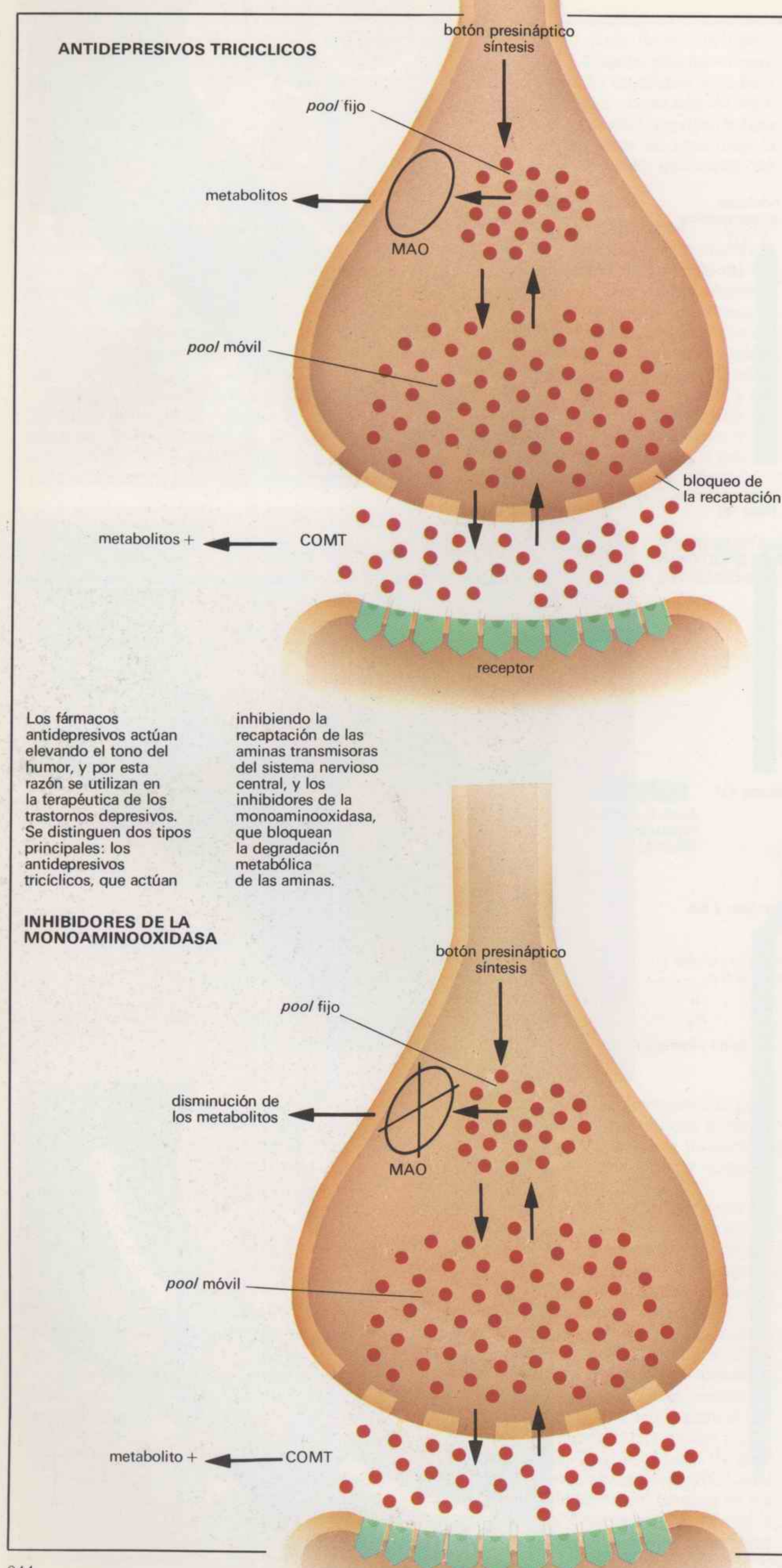


En la actualidad los investigadores consideran la posibilidad de que la depresión esté relacionada con alteraciones de complejos mecanismos bioquímicos que están interrelacionados. Según estas ideas, la serotonina parece desempeñar un papel de importancia esencial: en los ↓ sujetos deprimidos la serotonina presenta una actividad netamente disminuida; además, la concentración de sus metabolitos en el líquido cefalorraquídeo experimenta también un descenso. Por otra parte, el romboencéfalo de pacientes deprimidos (suicidas) contiene una menor cantidad de serotonina. Según esto, se habría detectado la presencia de una cadena metabólica tal vez responsable de manifestaciones depresivas. Un incremento de corticoides estimularía la actividad de un enzima que facilita una vía metabólica del triptófano hacia el ácido xanturénico, disminuyendo la formación de serotonina. La secuencia → representada en los tres dibujos de la derecha ilustra la relación entre la serotina y la depresión: arriba, serotonina (círculos de color) en el sujeto normal; en el centro, en el paciente deprimido; abajo, fármacos que producen depresión desvían la serotonina hacia las neuronas de partida.









Los fármacos antidepresivos actúan elevando el tono del humor, y por esta razón se utilizan en la terapéutica de los trastornos depresivos. Se distinguen dos tipos principales: los antidepresivos tricíclicos, que actúan inhibiendo la recaptación de las aminas transmisoras del sistema nervioso central, y los inhibidores de la monoaminooxidasa, que bloquean la degradación metabólica de las aminas.

lógica es una correlación entre los datos del comportamiento y los datos biológicos.

El desarrollo de la hipótesis biológica prevé el análisis de las correlaciones que pueden existir entre la depresión y algunas enfermedades de patogenia conocida, entre la depresión y los fenómenos de la herencia, y entre la depresión y el efecto de algunos fármacos activos sobre el sistema nervioso central.

La hipótesis de que el daño biológico causado a un órgano o a un sistema pueda ser significativo como desencadenante de un síndrome depresivo puede comprobarse mediante algunos hechos, como la relación existente entre la depresión y el ciclo menstrual y sus eventuales alteraciones, siendo también de destacar la depresión *postpartum*, la depresión de la menopausia y la depresión asociada a la hipoactividad tiroidea.

El retorno a la terapéutica hipocrática En 1949, el físico Julián F. Cade descubrió una sustancia eficaz en los trastornos mentales, el litio: el mismo producto que 2.500 años antes había ya utilizado Hipócrates para tratar la enfermedad psíquica por él denominada *melancolía*.

En consecuencia, actualmente la ciencia médica dispone de varias posibles terapéuticas no utilizadas en otros tiempos para tratar este trastorno mental considerado anteriormente como incurable. Los antidepresivos tricíclicos, como la amitriptilina, la imipramina y la doxepina, pertenecen a una misma familia química y tienen como mecanismo de acción antidepresiva el favorecer la función de determinados neurotransmisores cerebrales.

Los inhibidores de MAO reciben este nombre en virtud de su función inhibidora del enzima monoaminooxidasa presente en el cerebro. La inhibición de este enzima provoca a su vez un incremento en los niveles de ciertas aminas cerebrales, lo cual es responsable de su acción antidepresiva.

En definitiva, todos estos fármacos dan lugar a un mismo resultado a través de las acciones que desarrollan sobre los neurotransmisores cerebrales, si bien estas acciones tienen un mecanismo diferente según el grupo a que pertenezca un fármaco dado. El litio incrementa la concentración de metabolitos aminados de la noropinefrina, mientras que disminuye la de los metilados, es decir, aumenta el metabolismo intraneuronal y reduce el extraneuronal.

Efectos colaterales de los antidepresivos Como la mayoría de los fármacos, los antidepresivos presentan considerables efectos colaterales. Los tricíclicos pueden provocar vértigos, sequedad de boca, visión borrosa y dificultad en la coordinación de movimientos. Los efectos colaterales de los inhibidores de MAO son aún más serios: los pacientes deben excluir de su dieta todo tipo de quesos y derivados de la leche, el vino tinto, pescados

salados y otros tipos de alimentos. El denominador común de todos estos productos, aparentemente distintos entre sí, es la tiramina, una sustancia que se origina por degradación proteica. La interacción farmacológica entre la tiramina y los inhibidores de MAO puede provocar una rápida elevación de la presión arterial que suele resultar muy peligrosa.

Todavía hoy son objeto de minuciosos estudios los mecanismos de acción de los agentes antidepresivos. No son, sin embargo, fármacos comparables a los tranquilizantes ni que deban utilizarse como tales, ya que son totalmente distintos desde el punto de vista químico, y, además, los tranquilizantes pueden provocar directamente depresión. Por otro lado, para conseguir el mismo efecto que los antidepresivos, los tranquilizantes —y ello precisamente como consecuencia de la diferente composición química con respecto a aquéllos— deben ser administrados en dosis siempre más elevadas.

Véase **Psiquiatría**

iprindol

N

gamfexina

CH_3

$CH\ (CH_2)_2\ N\ (CH_3)_2$

melitracén

$CH\ (CH_2)_2\ N\ (CH_3)_2$

La terapéutica de la depresión ha sido notablemente mejorada desde el advenimiento de ciertas sustancias capaces de interferir de diversos modos con algunos mediadores del sistema nervioso. En la tabla que aparece en la parte inferior de esta página se ilustran algunos de los fármacos antidepresivos de mayor difusión en nuestros días; su acción es generalmente lenta, pero prolongada en el tiempo. Sobre estas líneas aparecen otros antidepresivos, de estructura molecular distinta de los citados anteriormente.

PREPARADO	FORMULA	DOSIS
imipramina	H_2C—CH_2; C; CH_2—CH_2—CH_2—N(CH_3)(CH_3)	100-200 mg diarios por vía oral
amitriptilina	H_2C—CH_2; N; CH—CH_2—CH_2—N(CH_3)(CH_3)	100-300 mg diarios por vía oral
tranilcipromina	—CH—CH—NH_2; C H_2	10-30 mg diarios por vía oral
pargilina	—CH_2—N—CH_2—C≡CH; CH_3	25-50 mg diarios por vía oral
etriptamina	—CH_2—CH(NH_2)—CH_2; N H	
iproniazida	N—CO—NH—NH—CH(CH_3)(CH_3)	10-50 mg diarios por vía oral
fenelzina	—CH_2—CH_2—NH—NH_2	50 mg diarios por vía oral
nialamida	N—CO—NH—NH; CH_2; —CH_2—NH—CO	50-200 mg diarios por vía oral
isocarboxacida	—CH_2—NH—NH—C(O)—C—CH; N—O—C—CH_3	10-50 mg diarios por vía oral

Ulliano Lucas

Deriva continental

Hace unos 200 millones de años, los continentes ocupaban una situación muy distinta de la actual. Estaban, de hecho, adosados, formando un único y gran supercontinente situado en su mayor parte en el hemisferio austral. Esta gran masa de tierra emergida, a la que se ha llamado *Pangea*, inició seguidamente un proceso de fragmentación largo y complejo, en el que fueron individualizándose los continentes actuales, cuyos movimientos relativos de distanciamiento y aproximación, según los casos, han determinado la posición que ocupan hoy día.

La parte meridional de ese supercontinente, llamada *Gondwana*, dio origen a América del Sur, Africa, Madagascar, India, Australia y al continente Antártico. La parte septentrional, *Laurasia*, se fragmentó a su vez en América del Norte, Groenlandia y el continente euroasiático.

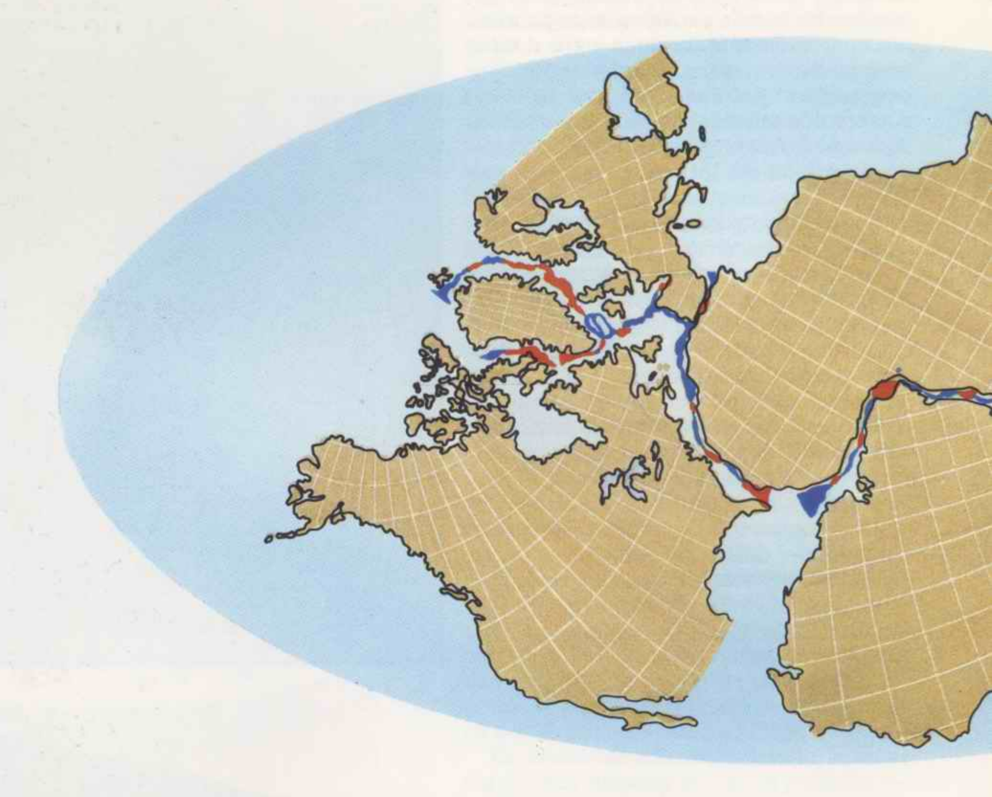
Esta sucesión de acontecimientos geológicos, hoy día plenamente aceptada, fue ya anticipada a principios de este siglo bajo el nombre de *Teoría de la deriva continental* y fue ampliamente controvertida en su tiempo.

Orígenes de la teoría El asombroso paralelismo entre las costas orientales de América del Sur y las occidentales de Africa ha excitado la imaginación de los naturalistas desde que se dispone de los primeros mapas de las mismas. La existencia del supercontinente *Gondwana* fue ya anticipada a finales del siglo pasado por Eduard Suess, geólogo austriaco, al que se debe el nombre. Se basaba para ello en la existencia, tanto en América del Sur como en Africa, India, Madagascar y Australia, en una misma época geológica, el *Triásico*, de importantes sedimentos detríticos depositados por casquetes glaciares y una flora típica de clima frío. Esto llevaba a pensar que los continentes habían estado en comunicación en dicha época geológica, proponiéndose para ello, en un principio, la existencia de *continentes puente*, posteriormente hundidos bajo las aguas marinas.

Fue sin embargo un físico-meteorólogo alemán, Alfred Wegener, el llamado a revolucionar el mundo científico en los años veinte de este siglo, al proponer que los continentes, lejos de ser bloques estáticos, se habían desplazado en el transcurso de los tiempos geológicos y que durante la época triásica habían estado unidos formando un único supercontinente al que llamó *Pangea*.

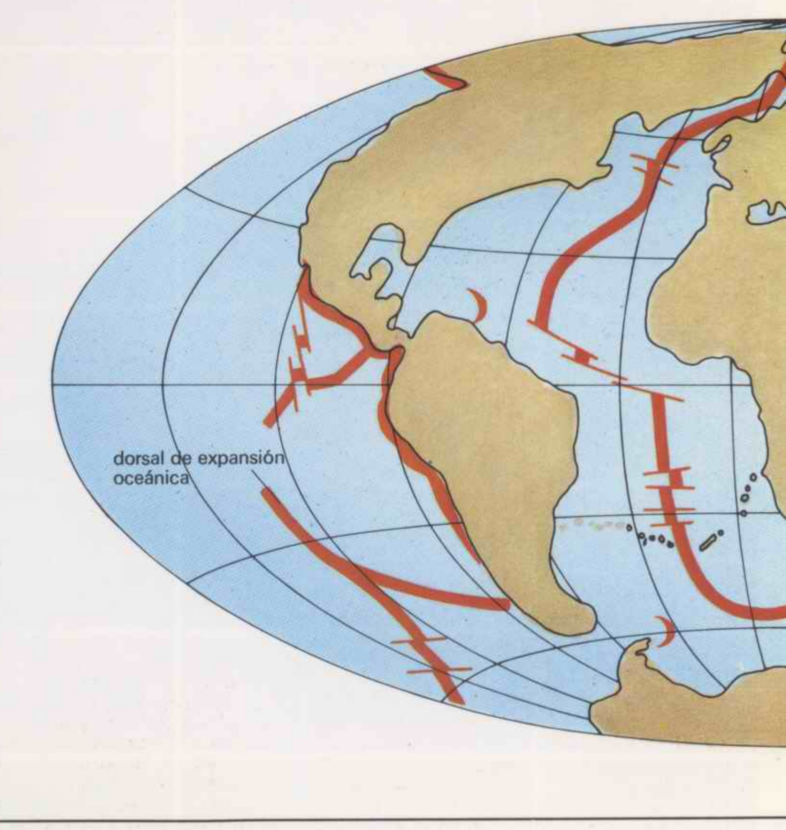
Se basaba Wegener no sólo en la semejanza de la flora fría y de los sedimentos glaciares, sino en la perfecta coincidencia de las formaciones geológicas entonces conocidas a ambos lados del Atlántico. Wegener ya anticipaba que la fragmentación de Pangea habría tenido lugar en un largo período de tiempo geológico, siendo, de hecho, más antigua la separación entre América del Sur y Africa que la de Groenlandia y Europa.

Para Wegener, los continentes, constituidos por rocas graníticas formadas por



Arriba, un planisferio con la yuxtaposición de los continentes, que nos muestra la validez de la hipótesis de Wegener, según la cual los continentes hoy en día separados estuvieron en una ocasión reunidos. Pero en los tiempos de Wegener, a principios de siglo, la yuxtaposición se intentaba sólo con el perfil de la parte emergida, por lo que resultaba imperfecta. En cambio, hoy sabemos que los continentes se extienden mar adentro, hasta los bordes de la plataforma continental. Empleando dichos bordes el ajuste resulta casi perfecto, como puede verse. El retículo trazado sobre los continentes es el de los meridianos y paralelos en su posición actual.

En el ángulo superior derecho de la página siguiente, de arriba abajo, tres fases en la deriva de los continentes a partir de su situación hace unos 200 millones de años. Entonces los continentes estaban reunidos en un bloque



En un pasado remoto, pero no muy lejano desde el punto de vista de las eras geológicas, los continentes estaban unidos. Como se ilustra en la figura superior, dicha unión era una realidad hace doscientos millones de años. La separación comenzó hace unos ciento cincuenta millones de años y el movimiento continúa en la actualidad en el mismo sentido y en todos los lugares del Globo. Este movimiento no podría tener lugar si no se verificasen dos fenómenos complementarios: la *expansión de los fondos oceánicos* con efusión continua de magma en la dorsal, que forma un nuevo fondo, y la *subducción*, es decir, el hundimiento de una placa bajo la otra.

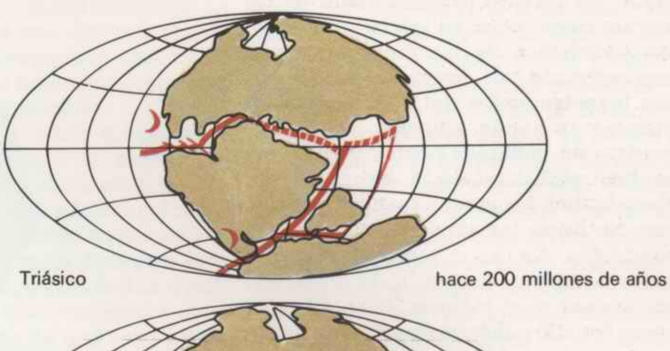
En rojo: zonas de superposición de los contornos de las masas continentales en base a la curva de 900 metros de profundidad

En azul: zonas de discordancia

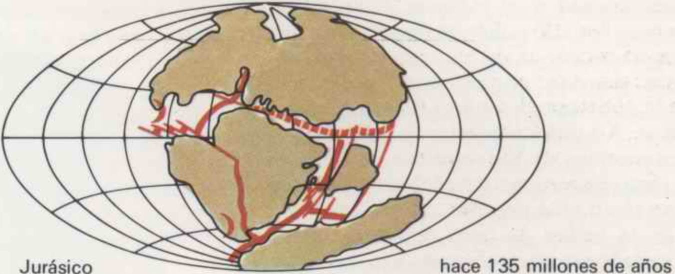




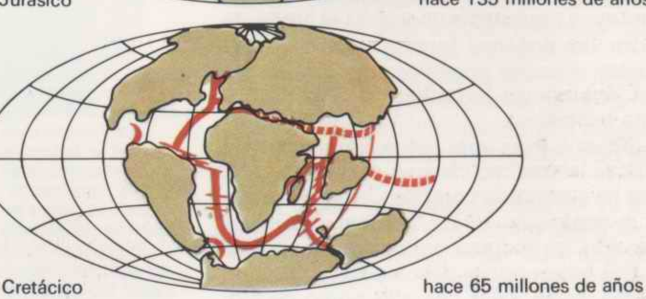
FORMACION Y DESTRUCCION DE LAS PLACAS CONTINENTALES Y OCEANICAS



Triásico — hace 200 millones de años



Jurásico — hace 135 millones de años



Cretácico — hace 65 millones de años

único llamado *Pangea*, estando el resto de la superficie ocupado por un océano muy extenso llamado *Panthalassa* (el primer término significa "todo tierra", y el segundo, "todo mar"). Los tres pequeños planisferios muestran que la fragmentación de Pangea se puede sintetizar en dos fases: En la primera, Eurasia y América del Norte se han separado de América del Sur y de Africa, así como de esta última lo hacían la Antártida, India y Australia en la segunda fase. A continuación se fue produciendo la individualización de los continentes hasta resultar su actual notable separación. La India ha efectuado un largo camino en solitario, hasta lograr unirse a Asia.

CENOZOICO (actual)

dorsal de expansión continental

línea de subducción

Doscientos millones de años son pocos comparados con la vida de la Tierra, que tiene al menos 4.700 millones. La situación previa a la deriva actual no es ciertamente la primordial. Con anterioridad, seguramente los continentes se han acercado y alejado varias veces, aunque no sea posible hablar de estos movimientos antiguos con la misma certeza que lo hacemos para los más recientes. Las pruebas de que disponemos sobre la deriva de estos últimos doscientos millones de años son más difíciles de obtener para el pasado. Hoy en día, además de las pruebas que aportan la Geología y la Paleontología, se pueden añadir las mediciones directas. Desde comienzos del siglo se han realizado observaciones sistemáticas sobre la variación de la posición geográfica de un cierto número de estaciones en la superficie terrestre. Hoy día la velocidad de deriva se puede medir con ayuda de satélites y del láser.

cuarzo y silicatos de aluminio (SIAL), y por lo tanto poco densas, flotarían a manera de islotes sobre una capa de basalto, roca más densa formada por silicatos magnesianos (SIMA). Esta última saldría a la superficie en las regiones oceánicas.

La existencia demostrada de un equilibrio gravitatorio entre regiones continentales y oceánicas, el llamado *equilibrio isostático*, obliga a suponer que las primeras, menos densas, hunden sus raíces en la capa simática hasta una cierta profundidad. El avance de los bloques continentales generaría en sus frentes las cadenas de plegamiento, como, por ejemplo, sería el caso de los Andes.

Una teoría controvertida La teoría propuesta por Wegener no fue, sin embargo, bien recibida en su época. Aunque tuvo grandes defensores, fue duramente rechazada, casi con violencia, por la mayor parte de los geólogos de entonces, todavía muy anclados en concepciones "fijistas", según las cuales los continentes habrían ocupado siempre la misma posición que ocupan en la actualidad.

Wegener, sin duda, se había adelantado a su época, lo que terminó traduciéndose en el completo olvido de su teoría hasta los años cincuenta.

La expansión de los fondos oceánicos Los años cincuenta marcan el comienzo de un giro revolucionario en las ciencias geológicas: se inicia la exploración sistemática de los fondos marinos, hasta entonces casi desconocidos. Se realizan levantamientos de la topografía de extensas regiones abisales, se dragan muestras en múltiples puntos y se hacen estudios geofísicos de la estructura del subsuelo. Los resultados que empiezan a aparecer hacia los años sesenta son sorprendentes. Así, se comprueba que los fondos oceánicos son en todo el mundo formaciones muy jóvenes, cuya edad no supera los 200 millones de años, en fuerte contraste con la de los continentes, en los que pueden encontrarse rocas mucho más antiguas, con hasta 3.800 millones de años. Además se observa que las rocas submarinas de las regiones abisales —en su mayoría rocas volcánicas basálticas— son tanto más jóvenes cuanto más cercanas se hallan de unas colosales cadenas montañosas que recorren, a manera de gigantesco espinazo sumergido, el fondo de todos los océanos terrestres. Son las llamadas *dorsales oceánicas*, caracterizadas por una intensa actividad sísmica y volcánica submarina.

Sin embargo, es el *paleomagnetismo* de dichas rocas volcánicas submarinas el que ha permitido comprender la estructura y dinámica de los fondos océanicos. Cuando un magma solidifica, y una vez que la temperatura desciende por debajo de un cierto valor llamado *punto de Curie*, los óxidos de hierro que cristalizan en dicho magma quedan magnetizados conforme al campo magnético existente en ese momento en ese punto. Los estudios realizados muestran que el fondo oceánico tiene una estructura magnética en bandas paralelas a las dorsales y simétricas a ambos lados de las mismas. Cada banda está formada por rocas volcánicas con una orientación distinta de los polos paleomagnéticos respecto a las adyacentes. Como se sabe, los polos magnéticos se invierten con una cierta periodicidad: el norte magnético al que apuntan las brújulas pasa a situarse en el polo sur y viceversa.

La tectónica de placas Las medidas paleomagnéticas en las rocas continentales permiten, al igual que en los océanos, determinar la posición geográfica de las mismas en el momento de su formación, habida cuenta que los polos magnéticos han sido siempre aproximadamente coincidentes con los geográficos.

De ser los continentes bloques fijos, la posición de los polos deducida a partir de rocas de una misma edad geológica en distintos continentes debería coincidir. Sin embargo, esto no sucede más que para el caso de las rocas muy jóvenes. La explicación lógica es que los continentes se desplazan unos respecto a otros. Por ello, moviendo los continentes sobre la superficie terrestre hasta que los polos de una determinada edad coincidan entre sí, se puede lograr una imagen de las sucesivas posiciones de las masas emergidas en el pasado.

Así, el continente Gondwana, ya constituido hacia el período Devónico (unos 400 millones de años), persiste como tal hasta el Triásico (unos 200 millones de años), al final del cual se inicia la fragmentación. Durante este largo período de tiempo, Gondwana fue derivando con tal trayectoría que el polo Sur, que en el Devónico se situaba sobre el Sahara actual, pasó a estar sucesivamente sobre Surafrica, la Antártida y finalmente, en el Triásico, sobre Australia. Pruebas del paso de estas áreas por el Polo son los vestigios de la actividad glaciar y el clima frío. Se trata de la llamada *Formación Gondwana*, sucesión de sedimentos que se encuentra en varios continentes australes y que reflejan unas condiciones climáticas frías. Se inicia la sucesión con *tillitas*, rocas con una





estructura caótica formada por fragmentos rocosos erráticos, transportados por el hielo a veces desde grandes distancias. La sucesión se continúa con estratos arenosos y arcillosos cubiertos con carbón en los que se localiza el helecho *Glosopteris* y fauna fría de altas latitudes.

La única teoría que hasta el momento explica coherentemente la expansión oceánica y la deriva continental es de confección reciente y ha recibido el nombre de *Teoría de la tectónica de placas*. Según esta teoría, la corteza terrestre está fragmentada en grandes unidades o *placas* que se mueven unas respecto a otras gracias a la existencia de una zona plástica llamada *astenosfera*, situada a unos 100-200 km de profundidad, que permite su desplazamiento. Las placas están constituidas en la mayoría de los casos por corteza oceánica y bloques continentales que se desplazan solidariamente con ella. Se ha reconocido las existencia de seis placas principales, así como de otras varias menores.

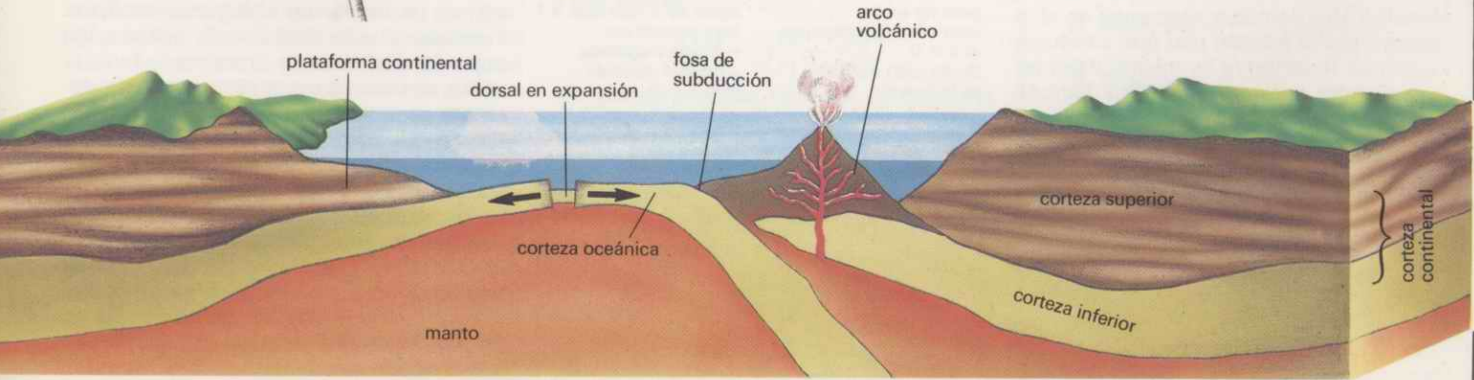
El hecho de que los continentes hayan estado a la deriva en el pasado, y que incluso hoy lo estén, está confirmado por múltiples datos. Puesto que sabemos que hace doscientos millones de años los continentes estaban unidos y que la fragmentación se inició poco después, se ha investigado si las antiguas faunas a ambos lados de la primitiva unión eran idénticas o al menos parecidas.
Arriba tenemos algunos ejemplos de coincidencias no sólo de fauna, sino también de flora. Una prueba, por sí sola importante y decisiva, es la magnetización de las rocas a ambos lados de las dorsales centro-oceánicas, en las que ascienden los magmas que forman la corteza oceánica. Puesto que el campo magnético terrestre ha experimentado muchas inversiones de polaridad, el hecho de encontrarlas "congeladas" en las rocas, con una disposición simétrica a ambos lados de la dorsal (como en los esquemas del centro de la página anterior), constituye una prueba tanto de la formación de la corteza oceánica por este mecanismo, como del movimiento de los fondos y de los bloques continentales. Por último, la formación de arcos insulares y de cadenas de volcanes acompañados de importante actividad sísmica y de formación de las rocas evidencia una zona de convergencia entre dos placas adyacentes.

Los bordes de las placas son zonas de intenso movimiento relativo y se caracterizan por una elevada sismicidad. En la zona donde dos placas se separan existe un intenso volcanismo cuyos productos, mayoritariamente magmas basálticos, "rellenan" el espacio creado. Se trata de las cordilleras dorsales de que ya hemos hablado. Son en su mayor parte submarinas y en ellas se genera la corteza oceánica. Cuando dos placas chocan, una de ellas tiende a sumergirse bajo la otra, dando lugar en superficie a un surco que constituye una *fosa submarina*, verdadera cicatriz de este proceso que se llama *subducción*. Asimismo se forman arcos de volcanes sobre el borde de la placa superior. Tal es el caso de las alineaciones de volcanes en el Pacífico occidental (Japón, Indonesia, etc.) La continuación del proceso culmina en la colisión de los continentes transportados sobre las placas, que naturalmente no pueden sumergirse en profundidad por ser poco densos. Se originan así las *cadenas de plegamiento*, como los Alpes o el Himalaya, esta última resultante de la colisión entre la India y Eurasia.

Finalmente, las placas pueden resbalar unas respecto a otras a lo largo de las llamadas *fallas transformantes*, que segmentan las dorsales dándoles un aspecto quebrado.

La *tectónica de placas*, que se va confirmando día a día con nuevas observaciones, permite comprender con una gran base científica la suposición de Wegener de que los continentes actuales derivan y que proceden de la fragmentación, iniciada hace unos 200 millones de años, de un único supercontinente. Ahora sabemos también que las masas continentales han estado reunidas en más de una ocasión a lo largo de la historia de la Tierra, por lo menos en su parte conocida, esto es, en unos 3.800 millones de años.

Véase **Continente; Corteza terrestre; Fósil y fosilización; Geología; Glaciaciones; Manto terrestre; Paleomagnetismo; Roca; Tectónica**



Derivadas y diferenciales

Casi todos nuestros contemporáneos —al menos los de cierta cultura en los países desarrollados— utilizan con soltura los conceptos de *velocidad* y *pendiente*. Sin embargo son menos —sólo los que han recibido alguna instrucción matemática— quienes saben que ambos conceptos pueden considerarse como casos particulares del de *derivada*.

La de *derivada* es una invención de la segunda mitad del siglo XVII, debida a dos de las más grandes figuras del pensamiento científico y filosófico de Occidente —Newton y Leibniz— y es el origen del Análisis Matemático actual y la base de una gran parte de las aplicaciones de la Matemática a las ciencias naturales, la tecnología e, incluso, las humanidades.

Definiciones básicas Si se tiene una función real de variable real, *f*, continua en el entorno de un punto *a*, se puede para los puntos $x=a+h$ de dicho entorno definir el incremento de la variable independiente, $\Delta f(a) = f(a+h) - f(a)$, que corresponde al incremento $\Delta x=h$ de la variable independiente, y establecer el llamado cociente incremental $\Delta f/h$. Este cociente con *a* fijo depende sólo de *h*; puede estudiarse, por tanto, si tiene límite o no cuando *h* tiende a cero. Precisamente se llama *derivada* de la función *f* en el punto *a* tal limite, si existe; es decir:

$$f'(a) = \lim_{h\to 0} \frac{f(a+h) - f(a)}{h}$$

La notación $f'(a)$ se lee "derivada de *f* en *a*". La aplicación inmediata de la definición permite obtener algunos resultados sencillos. Por ejemplo: si $f(x)=c$ (*c* número constante), para cualesquiera *a* y *h* se tiene $f(a+h) = f(a)= 0$; y, consiguientemente, $\Delta f(a)/h=0$ para todo *h* y $f'(a)=0$. Análogamente, si *f* es la función líneal $f(x)=cx+d$ resulta fácil ver que, para cualquier punto *a* y cualquier *h*, $\Delta f(a)=ch$ y, por consiguiente, $\Delta f(a)/h=c$, cuyo límite, es el propio *c*.

Si *f* no es continua en el punto *a* no tiene sentido hablar de su derivada en él, ya que $\Delta f(a)$ no tenderá a cero cuando lo haga *h*, y por tanto $\Delta f(a)/h$ no tendrá límite (finito) cuando $h\to 0$. Por lo tanto sólo puede hablarse —al menos desde un punto de vista clásico y elemental— de *derivada de una función* (o, usando el verbo correspondiente) de *derivar una función* si ésta es continua. Sin embargo la recíproca no es cierta: una función continua puede no ser derivable (aunque sea muy sencilla). Un caso muy elemental es el siguiente: sea la función real que a todo número real le atribuye su mismo valor numérico pero con signo positivo. Simbólicamente: $f(x)=|x|$; esta función se representa en la figura adjunta y, como se ve fácilmente, es continua para todo punto *a*. También es derivable para todos los valores positivos, con derivada 1, y para todos los valores negativos, con derivada -1. Sin embargo, en el punto $a=0$ la función no es derivable. En efecto: $f(0)=0$; $f(h)=|h|$, y resulta que $\Delta f(0)/h=|h|/h$, que vale +1 ó -1 según que *h* sea positivo o negativo y que, por consiguiente, no tiene límite cuando $h\to 0$ de cualquier manera. A veces se dice, en casos como éste, que existen derivadas por la derecha y por la izquierda distintas.

Un concepto que se deduce del de *derivada* es el de *función derivada*. Se dice que *f'* es la derivada de *f* en un cierto intervalo cuando f *es* derivable en todos los puntos del intervalo y precisamente *f'* es la función que asigna a cada uno de ellos el valor de la derivada. La *función derivada*, de gran importancia en Análisis, se suele denominar simplemente *derivada*. Notaciones usuales para la *derivada* son:

$$f'(x) = \dot{f}(x) = \frac{df(x)}{dx} = Df(x)$$

eludiendo la variable *x*, cuando se quiere enfatizar que se trata de la función como tal. La primera notación, la más usual hoy, fue introducida por Lagrange a finales del siglo XVIII; la del punto sobre la letra se debe al propio Newton que la usó para sus *fluxiones* (derivadas) y aún hoy se suele utilizar cuando se llama *t* a la variable independiente (normalmente con el significado físico de tiempo); la tercera notación se debe al otro inventor del concepto, Leibniz, y su interpretación correcta es la de que se trata de un símbolo para designar *f'* y no de un cociente (al menos mientras no se lean los párrafos siguientes). La última notación, frecuente en muchos textos, pone de relieve que la derivada es el resultado de aplicar a la función original, *f*, la operación de derivar (simbolizada con D).

Un concepto íntimamente ligado al de *derivada* es el de *diferencial*. Se llama diferencial de *f* en *a*, y se denota, $df(a)$ a la función de *h* definida como $f'(a)h$. Esta función tiene dos propiedades inmediatas: es una función lineal de *h*, ya que $f'(a)$ es una constante; es una aproximación de $\Delta f(a)$ tanto mejor cuanto más pequeño sea *h*, ya que de la definición de derivada se deduce que:

$$\frac{\Delta f(a)}{h} = f'(a) + \varepsilon'(h)$$

siendo $\varepsilon'(h)$ una función de *h* que tiende a cero con *h* (lo que se llama, a veces, con denominación muy controvertida, un "infinitésimo") y, por tanto

La función continua *valor absoluto de x*, $f(x) = |x|$, es derivable en las semirrectas $x < 0$ y $x > 0$, pero no en los intervalos que incluyan al $x = 0$. Su función derivada es la función discontinua $f(x) = \frac{|x|}{x}$, llamada también *signo de x*, que vale +1 para x positivos, −1 para negativos y no está definida para $x = 0$.

$$\Delta f(a) = df(a) + \varepsilon(h)$$

(habiendo hecho $\varepsilon(h) = h\ \varepsilon'(h)$, función que tiende también a cero con *h*).

Si se estudia la diferencial en un punto genérico *x*, en vez de *a*, se tiene que $df=f'(x)h$ es una función de dos variables: del punto *x* y del incremento *h* (en esta variable lineal). Si, en particular $f(x)=x$, se tiene (por ser, entonces, $f'(x)=1$) que: $dx = h = \Delta x$. Puede, pues, ponerse que

$$df = f'(x)\ dx$$

lo que permite escribir

$$f'(x) = \frac{df}{dx}$$

con lo que una simple notación puede interpretarse como cociente de dos diferenciales. Esto último no supone ningún "descubrimiento", sino un obvio resultado de las definiciones hechas; no obstante, es muy sugestivo, y está en la base del éxito de Leibniz frente a Newton, el recurso heurístico de ver a df/dx no sólo como lo que es, en rigor, el límite de $\Delta f/\Delta x$, cuando Δx tiende a cero, sino también como el cociente df/dx, teniendo en cuenta que *df* es una aproximación de Δf para valores "infinitesimales".

¿Qué son las derivadas? Si *x* es la distancia, medida sobre una recta (a partir de un origen dado), recorrida por un punto móvil, se tendrá que $x = x(t)$ es una función de la variable tiempo *t*. Entonces

$$\frac{x(t_1) - x(t_0)}{t_1 - t_0}$$

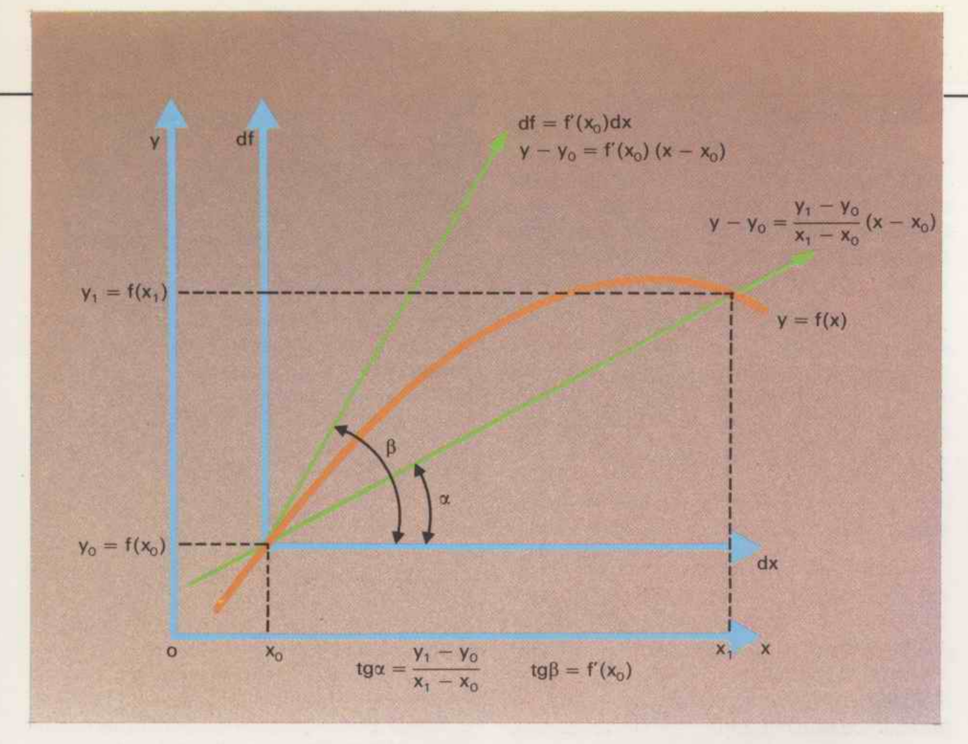
es, obviamente, la velocidad media (distancia recorrida dividida por tiempo empleado) entre los instantes t_0 y t_1 o, lo que es lo mismo, en el trayecto $x_0 = x(t_0)$ a $x_1 = x(t_1)$. Cuando t_1-t_0 tiende a cero el recorrido tiende también a cero y el cociente a la velocidad instantánea. Ahora bien, si se recuerda la definición de derivada, se tiene que la velocidad instantánea en un punto cualquiera *t* es

$$v(t) = \lim_{\Delta t\to 0} \frac{x(t + \Delta t) - x(t)}{\Delta t} = \frac{dx}{dt}$$

Es decir, que la velocidad de un punto que se mueve sobre una recta según la ley x(t) no es sino la derivada $v(t) = \dot{x}(t)$. Este resultado puede extenderse cuando x(t) es un vector en el espacio euclídeo. También puede definirse la aceleración como la derivada de la velocidad v(t) o, como se dice en estos casos, como la *derivada segunda* (derivada de la derivada) de *x* (t).

La significación de la derivada como velocidad es fundamental en mecánica (y en general en toda la física) y fue la que tuvo en mente el propio Newton.

Otra significación es, sin embargo, la más obvia y fundamental para los matemáticos: la de *pendiente* de una curva en un punto (es decir la tangente del ángulo que forma la recta tangente a la curva en



Si $(x_0, f(x_0))$ es un punto de la curva $y = f(x)$ la tangente en el mismo, límite de las secantes que pasan por él y un punto variable, tiene por pendiente $f'(x_0)$. La recta tangente puede verse también como la aproximación lineal df de la función cuando se toma como nueva variable $dx = x - x_0$.

dicho punto con el eje de abscisas). Sea $y = f(x)$ la ecuación explícita de una curva respecto a un cierto sistema coordenado cartesiano y fijémonos en la secante que la corta en el punto fijo (a, f(a)) y en el variable (x, f(x)); la pendiente (o tangente del ángulo que forma con el eje de abscisas) vale $\frac{f(x) - f(a)}{x - a}$. Evidentemente cuando el punto *x* tiende al *a* o, lo que es lo mismo, x-a tiende a cero, resulta que la secante se convierte en la tangente y la pendiente de la secante en la de la tangente f'(a). Esta significación, junto con la de que la integral representa el área, son fundamentales para la Geometría y el Análisis.

Naturalmente que caben interpretaciones más genéricas. Así, puede verse $f'(x)$ como el coeficiente, razón o intensidad local de crecimiento de *f* en el punto *x*, lo que, a veces, se llama el *gradiente* de *f*. Ello no quiere decir otra cosa sino que si hay un incremento Δx de la variable independiente, el incremento de *f* es, aproximadamente, $f'(x)\Delta x$, siendo la aproximación tanto mejor cuando menor sea Δx. Este sentido general es el que Leibniz, menos "mecanicista" que Newton, contemplaba. Así, por ejemplo, en Economía se usa el de derivada para definir conceptos como los de coste e ingreso marginales.

Propiedades y cálculo de derivadas Sería necesario un gran espacio para obtener los resultados más elementales sobre derivadas, de los que, en la tabla adjunta, se da una breve muestra. Sin embargo, a título de ejemplo, cabe deducir algunos de dichos resultados.

El primero y más evidente es que, debido a la intercambiabilidad de la operación de "paso al límite" con las de "sumar" y "multiplicar por una constante", la derivación es una operación líneal sobre las funciones derivables.

Otra propiedad importante es la llamada "ley de la cadena" que expresa que la derivada, respecto *a x*, de la función compuesta (o producto) $f(u(x))$ es simplemente $f'(u)\,u'(x)$ (donde la notación de derivada se refiere a la variable correspondiente). Dicha propiedad resulta "evidente" (aunque no sirva como demostración) al escribirla con la notación de Leibniz:

$$\frac{df}{dx} = \frac{df}{du} \cdot \frac{du}{dx}$$

Las dos propiedades anteriores y algún resultado sencillo sirven para calcular las derivadas de muchas funciones elementales y obtener importantes propiedades de la derivación. Veamos algunos ejemplos, admitiendo como conocido el resultado:

$$D\,(\log x) = \frac{1}{x}$$

1. Sea $f(x) = u(x)\,v(x)$
tomando logaritmos neperianos

$$\log f(x) = \log u(x) + \log v(x)$$

y derivando

$$\frac{f'(x)}{f(x)} = \frac{u'(x)}{u(x)} + \frac{v'(x)}{v(x)}$$

que puede ponerse, teniendo en cuenta la definición de *f*, como

$$f'(x) = u'(x)\,v(x) + u(x)\,v'(x)$$

2. Sea $f(x) = x^n$ (*n* real)
operando de un modo análogo

$$\log f(x) = n \log x$$

$$\frac{f'(x)}{f(x)} = \frac{n}{x} \quad ; \quad \frac{d}{dx}(x^n) = nx^{n-1}$$

(cuando *n* es natural es muy sencillo calcular, mediante el binomio de Newton, el cociente de incrementos y el límite correspondiente; sin embargo, este método es más sencillo y el resultado válido para *n* no natural).

3. Sea $f(x) = a^x$
Operando del mismo modo

$$\log f(x) = x \log a$$

$$\frac{f'(x)}{f(x)} = \log a \qquad \frac{d}{dx}(a^x) = a^x \log a$$

En particular: $De^x = e^x$

Como es natural, pueden obtenerse también resultados aplicando directamente la definición; por ejemplo, el que hemos supuesto conocido anteriormente, que a continuación se prueba.

Si $f(x) \doteq \log x$ se tiene que

$$\Delta f = \log(x + h) - \log x = \log\left(\frac{x + h}{x}\right)$$

$$\frac{\Delta f}{h} = \frac{1}{h} \log\left(\frac{x + h}{x}\right) = \frac{1}{x}\left[\frac{x}{h} \log\left(1 + \frac{h}{x}\right)\right] =$$

$$= \frac{1}{x} \log\left[\left(1 + \frac{h}{x}\right)^{\frac{x}{h}}\right]$$

Como se pueden intercambiar los signos *log* y *lím* y, por otra parte, $\frac{h}{x} \to 0$ cuando $h \to 0$ y, por definición de número e, se tiene que $(1 + \varepsilon)^{1/\varepsilon} \to e$, cuando $\varepsilon \to 0$, resulta que

$$D\,(\log x) = \frac{1}{x} \log e = \frac{1}{x}$$

A. Algunas propiedades de la derivación.

1. $D(\alpha f + \beta g) = \alpha Df + \beta Dg$
2. $D(f \cdot g) = (Df) \cdot g + f \cdot (Dg)$
3. $D(f/g) = \frac{1}{g^2}\,[(Df) \cdot g - f(Dg)]$
4. $\frac{d}{dx}\,[f(u(x))] = f'(u) \cdot u'(x)$
5. Si $y = f(x)$, $x = f^{-1}(y)$
   entonces $\frac{d}{dy} f^{-1}(y) = \frac{1}{f'(x)}$

B. Derivadas de algunas funciones elementales de una función $u(x)$ derivable.

1. $D(u^n) = n\,u'\,u^{n-1}$
2. $D(\log_a u) = \frac{u'}{u} \log_a e$
3. $(a^u) = u'\,a^u \log a$
4. $D(\text{sen}\, u) = u' \cos u$
5. $D(\cos u) \quad u' \,\text{sen}\, u$
6. $D(\text{tg}\, u) = \frac{u'}{\cos^2 u}$
7. $D(\text{arc sen}\, u) = \frac{u'}{\sqrt{1 - u^2}}$
8. $D(\text{arc cos}\, u) = -\frac{u'}{\sqrt{1 - u^2}}$
9. $D(\text{arc tg}\, u) = \frac{u'}{1 + u^2}$

Notas.
α, β y *n* son números reales cualesquiera y *a* un real positivo. Con *f*, *g* y *u* se designan funciones derivables arbitrarias. f^{-1} es la función inversa de *f* (en los demás casos los exponentes tienen la significación usual). Los pares de fórmulas (2, 3), (4, 7), (5, 8) y (6, 9) de la parte B de la tabla son un ejemplo de aplicación de A.5. Cuando $u(x) = x$, $u'(x) = 1$ y las fórmulas se reducen a casos simples.

Otros conceptos Es posible extender los conceptos de derivación y diferenciación a funciones más complicadas que las reales de una variable real. Sea, por ejemplo, *f* una función de un conjunto abierto de $\mathbb{R}^n$ en $\mathbb{R}$, $f(x_1, x_2, ..., x_n)$. Se define entonces la derivada parcial de *f*, respecto a la variable x_i en un punto $a = (a_1, a_2, ... a_n)$ como la derivada de la función

$$f(a_1, a_2, ... x_i, ... a_n)$$

en a_i respecto a x_i y se usa la notación siguiente

$$\left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)_a = f'_{x_i}(a_1, a_2, ..., a_i, ..., a_n) =$$

$$= \lim_{h_i \to o} \frac{f(a_1, a_2, ..., a_i + h_i, ... a_n) - f(a_1, ... a_n)}{h_i}$$

Como en el caso de una variable, puede pasarse inmediatamente de las derivadas en un punto a las funciones derivadas.

Conviene, por muchas razones, considerar a veces el *vector gradiente* de *f*, que es el que tiene por componentes las derivadas parciales

$$grad\ f = \left(\frac{\partial f}{\partial x_1}, \frac{\partial f}{\partial x_2}, ..., \frac{\partial f}{\partial x_n}\right)$$

En el caso de varias variables la derivabilidad no implica necesariamente la diferenciabilidad (aunque la recíproca sí se dé). Ello se debe a que *f* es *diferenciable* si el incremento de la función admite una aproximación del tipo:

$$\Delta f = \frac{\partial f}{\partial x_1} h_1 + \cdots + \frac{\partial f}{\partial x_n} h_n + \varepsilon$$

donde ε tiende a cero cuando

$$\sqrt{h_1^2 + \cdots + h_n^2} \to 0$$

siendo $h_1 ..., h_n$ los diferentes incrementos (o sea $h_i = \Delta x_i = dx_i$). Si ello sucede se llama diferencial precisamente a la aproximación lineal de Δf.

$$df = \frac{\partial f}{\partial x_1} dx_1 + \cdots + \frac{\partial f}{\partial x_n} dx_n$$

Haciendo uso de los conceptos de *grad f* y de producto escalar (resultado de multiplicar componente a componente dos vectores y sumar los productos):

$$df = grad\ f\ dx$$

siendo $dx = (dx_1, ..., dx_n)$.

Cuando se trabaja con funciones de $\mathbb{R}^n$ en $\mathbb{R}^m$ lo anterior se complica un poco, porque *f* es entonces un vector con *m* componentes $(f_1, ... f_m)$ y cabe definir las derivadas parciales de cada una de ellas respecto a cada una de las variables:

$$\frac{\partial f_i}{\partial x_j} \quad (i=1, ...m;\ j=1, ...n).$$

Ahora el vector gradiente se convertirá en una matriz, llamada *jacobiana*, de componente (ij) dados por $\partial f_i/\partial x_j$, y la diferencial, en un vector de componentes $(df_1,...df_m)$ para cada una de las cuales cabría escribir

$$df_i = \sum \frac{\partial f_i}{\partial x_j} dx_j$$

que utilizando, notación matricial puede ponerse también como

$$\mathbf{df} = (\partial \mathbf{f}/\partial \mathbf{x})\ \mathbf{dx}$$

habiendo denotado por **df** el vector columna de componentes $(df_i ... df_m)$, por **∂f/∂x** la matriz *jacobiana* de las derivadas $\partial f_i/\partial x_j$ y por **dx** el vector columna de componentes $(dx_1, ... dx_n)$.

Volviendo a las funciones reales de variable real puede, como ha sucedido en el caso concreto de la velocidad y la aceleración, que una vez determinada *f'* a partir de *f*, haya que repetir la operación. Así se llama *derivada segunda* de *f* a la derivada de *f'* y, en general, derivada *enésima* a la que resulta de derivar *n* veces consecutivas *f*. Las notaciones usuales son las siguientes: f', f'', ..., $f^{(n}$; o, también,

$$\frac{df}{dx}, \frac{d^2f}{dx^2}, ..., \frac{d^nf}{dx^n}$$

Hay funciones que son, incluso, infinitas veces derivables. Por ejemplo un polinomio de grado *n* (si bien es cierto que a partir de la derivada de orden n+1 todas son cero) o las funciones transcendentes elementales (exponencial, seno, etc.).

Entre las funciones que son infinitamente derivables hay una clase especial: las llamadas *analíticas;* son aquellas que pueden desarrollarse en serie de Taylor

$$\mathbf{f(x)} = \sum_{o}^{\infty} \frac{1}{k!} f^{(k}(a)\ (x - a)^k$$

en un entorno de *a* (o, de Mac-Laurin, si *a*=0). Tal es el caso de un polinomio de grado *n*, si bien en este caso todos los términos de grado superior a *n* se anulan. La caracterización completa de las funciones analíticas de variable real es difícil. No así si se pasa al plano complejo: *f(z)* es analítica en un entorno de a ∊ ℂ si es derivable en él. Hay un matiz a resaltar: el de que la derivación de funciones complejas, aunque se define de modo idéntico a como se ha hecho en el caso real, tiene ciertas peculiaridades. En efecto si *f(z)* se descompone en parte real e imaginaria: f(z) = u(x,y) + iv(x,y), la derivada puede ponerse:

$$\frac{df}{dz} = \frac{\partial u}{\partial x} + i\frac{\partial v}{\partial x} = \frac{\partial v}{\partial y} - i\frac{\partial u}{\partial y}$$

resultando que, para que exista *f'(z)*, deben ser *u(x,y)* y *v(x,y)* diferenciables y cumplirse las llamadas condiciones de Cauchy-Riemann:

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial v}{\partial y} \qquad \frac{\partial v}{\partial x} = -\frac{\partial u}{\partial y}$$

en el entorno del punto.

Ejemplos de desarrolo en serie de funciones analíticas son los siguientes (válidos para todo *x* real y también complejo)

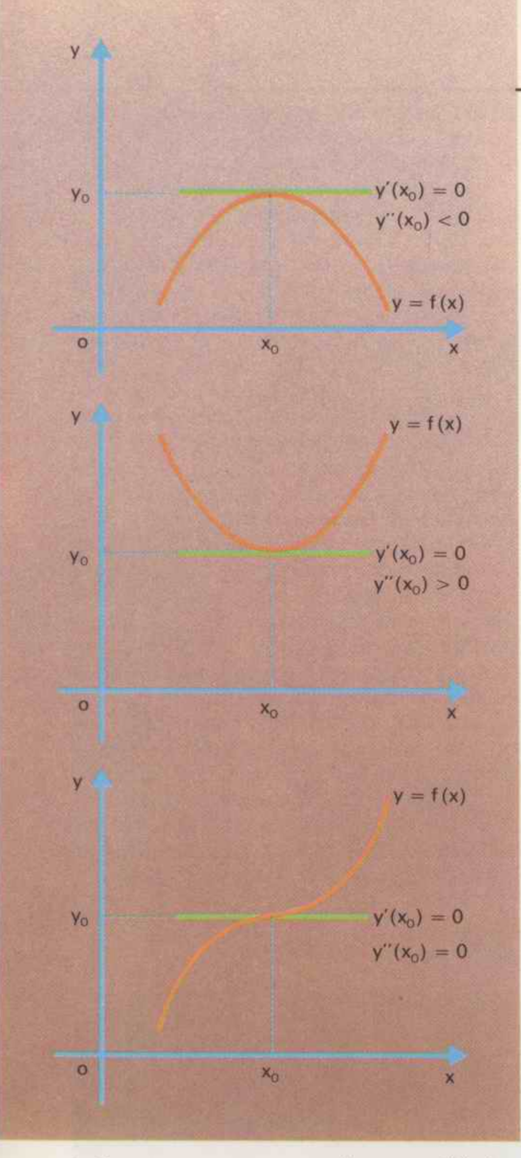
$$e^x = 1 + x + \frac{x^2}{2!} + \cdots + \frac{x^n}{n!} + \cdots$$

$$\operatorname{sen} x = x - \frac{x^3}{3!} + \cdots + (-1)^n \frac{x^{2n+1}}{(2n+1)!} + \cdots$$

$$\cos x = 1 - \frac{x^2}{2!} + \cdots + (-1)^n \frac{x^{2n}}{(2n)!} + \cdots$$

Hay casos en los que, sin embargo, el desarrollo sólo es válido en un círculo (llamado de *convergencia*) del plano complejo, con centro en el punto alrededor del que se hace el desarrollo.

En la figura se muestra la representación de la función z = f (x, y) como superficie del espacio euclídeo tridimensional. El plano tangente en el punto (x_0, y_0, z_0) tiene una ecuación cuyos coeficientes son las → derivadas parciales de f en dicho punto. Puede considerarse, si se toman ejes con origen en (x_0, y_0, z_0) y paralelos a los originales, la imagen geométrica de la diferencial df, función de $dx = x - x_0$ y $dy = y - y_0$, que es la mejor aproximación lineal de la función en el punto. Sus derivadas parciales representan, por otra parte, las pendientes de las rectas tangentes ↓ en $(x_0\ y_0)$ a las curvas caracterizadas por tener una de las coordenadas x_0 o y_0, constantes y estar sobre la superficie z = f (x, y).



La figura muestra tres posibles configuraciones geométricas para un punto $(x_0, f(x_0))$ de la curva $y = f(x)$ cuando $f'(x_0) = 0$, según que sea $f''(x_0)$ negativa, positiva o nula, correspondientes a un máximo y un mínimo relativos y a un punto de inflexión respectivamente.

Los desarrollos en serie de potencias de las funciones analíticas son sumamente útiles en numerosas aplicaciones y su conocimiento equivale al de todas las derivadas en un punto. Para funciones no analíticas es, sin embargo, posible obtener un resultado más débil. Por ejemplo si *f* es derivable (con derivadas finitas se entiende), en un entorno de *a*, *n*–1 veces y existe también $f^{(n}(a)$, se puede poner, para puntos del entorno de *a*, que

$$f(x)=f(a)+f'(a)(x-a)+\cdots+\frac{f^{(n}(a)}{n!}(x-a)^n+T_n$$

donde T_n tiende a cero con $(x-a)^n$ Esta fórmula, también, se llama de Taylor y es muy útil en las aplicaciones.

Las definiciones y resultados sobre derivadas de orden superior, desarrollos en serie, etc., pueden extenderse también al caso de funciones de varias variables.

Aplicaciones Las aplicaciones del concepto de derivada son extraordinariamente numerosas. Entre las más elementales señalemos algunas geométricas o analíticas elementales.

Una, obvia, es la determinación de la ecuación de la tangente a una curva plana de ecuación explícita en coordenadas cartesianas $y = f(x)$ en el punto $(a, f(a))$. Si *f* es derivable en *a* se tiene que la tangente tiene la ecuación:

$$y = f(a) + f'(a)\,(x-a)$$

Como se observa fácilmente, no es otra cosa que la expresión de la diferencial si se hace el cambio: $y-f(a) = dy$; $x-a = dx$, lo que es obvio ya que ésta es la aproximación lineal a $f(x)$ en $(a, f(a))$.

Si la curva está dada por sus ecuaciones paramétricas : $x = x(t)$ e $y = y(t)$, y se quiere la tangente en $(x(t_0), y(t_0))$, una sencilla manipulación conduce a:

$$y = y\,(t_o) + \frac{y'(t_o)}{x'(t_o)}\,(x - x(t_o))$$

(se supone obviamente, la existencia de las derivadas que se indican).

Otra aplicación interesante es la del cálculo de máximos (o mínimos) relativos de las funciones derivables, es decir, de los puntos tales que, en un entorno suyo la función tome valores menores (o mayores) que en él. Una condición necesaria de máximo o mínimo es simplemente la anulación de la derivada en el punto. Discernir si se trata de un máximo o un mínimo o de un punto de inflexión exige investigar las derivadas sucesivas: si la primera en no anularse es par, se trata de un máximo si es negativa o de un mínimo si es positiva; por el contrario, si es de orden impar se trata de un punto de inflexión (ver figura). La explicación es sencilla y se encuentra sin más que estudiar el signo de la diferencia de $f(x) - f(a)$, utilizando la fórmula de Taylor, para los *x* de un entorno de *a*. Los puntos de inflexión son aquéllos en los que la tangente corta a la curva y no tienen por qué corresponder sólo a puntos con tangente horizontal (ver figuras); se dan también cuando $f'(a)$ no se anula pero se anula $f''(a)$ (lo que sucede cuando cambia la concavidad de la curva).

Cuando se trata de funciones de varias variables se pueden obtener resultados análogos. Por ejemplo, el plano tangente a una superficie en el espacio ordinario (o a una hipersuperficie en el de dimensión *n*) se obtiene a partir de la expresión de la diferencial

$$z = f(x_o, y_o) + f_x'\,(x_o, y_o)\,(x - x_o) + {} + f_y'(x_o, y_o)\,(y - y_o)$$

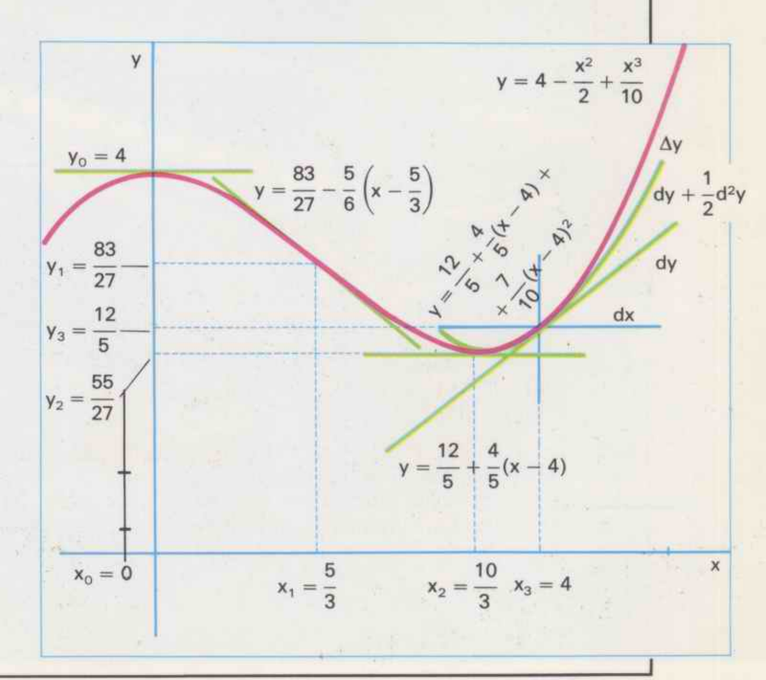
siendo $z = f(x,y)$ la ecuación explícita de la superficie y (x_0, y_0, z_0) el punto de tangencia.

Nota final Desde un punto de vista *moderno* las teorías actuales de la derivación que se estudian en diferentes ramas del Análisis (Teoría de las Distribuciones, Teoría de la Medida, Análisis Funcional, Análisis no-standard, etc.) permiten a los matemáticos de hoy *derivar*, en cierto sentido, funciones reales discontinuas o funciones cuyos argumentos no son variables reales o complejas sino entes matemáticos más intrincados (por ejemplo funciones).

Por otra parte cabe señalar que la problemática en torno a lo que se llamó la *metafísica* del Cálculo infinitesimal (que en los siglos XVII al XIX fue una de las fundamentales de la filosofía de las matemáticas), relativa a la espinosa cuestión de las cantidades *infinitesimales*, resuelta de un modo cortante en el siglo XIX, por obra de Cauchy y otros forjadores de la llamada aritmetización del Análisis, en nuestro siglo ha podido verse a otra luz (por ejemplo mediante el Análisis no-standard).

Véase **Análisis matemático; Continuidad; Convergencia; Ecuaciones diferenciales; Función matemática; Geometría diferencial; Integrales; Optimización; Series**

En la figura se representa la cúbica $y = 4 - \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{10}$. Como sus dos primeras derivadas son $y' = -x + \frac{3x^2}{10}$ e $y'' = -1 + \frac{3x}{5}$ resulta que tiene un máximo, un mínimo y un punto de inflexión (con tangente no horizontal) en los puntos de abscisas x_0, x_2 y x_1 respectivamente, por las que se han trazado las correspondientes tangentes. Para el punto de abscisa $x_3 = 4$ se dan, también, la recta y la parábola, que suponen las mejores aproximaciones lineal y cuadrática a la curva en el mismo. Se obtienen sin más que tomar los términos correspondientes en la fórmula de Taylor (es decir $df = f'dx$ o $\frac{1}{2}d^2f = \frac{1}{2}f''dx^2$ respectivamente).



Desalinización

El agua pura es un simple compuesto de hidrógeno y oxígeno, de fórmula H_2O; pero el agua que bebemos contiene una cierta cantidad de sales químicas disueltas en ella. Esto generalmente contribuye a darle un sabor bueno y "fresco." De hecho, el agua pura es insípida y de mal sabor. Pero si el porcentaje de sales disueltas llega a ser excesivo, el agua resulta amarga y produce generalmente un efecto laxante e incluso emético. El agua de las regiones semiáridas y desérticas o procedente de pozos muy profundos (300-1.000 m) resulta normalmente demasiado salobre, y antes de ser apta para beberla tiene que ser sometida a algunos tratamientos. Lo mismo ocurre con el agua de mar, que se utiliza para el consumo en algunas regiones costeras áridas, como Arabia Saudí, Egipto, Israel y Bahrein, o en islas de alta mar, como pueden ser algunas islas del Caribe.

El agua de mar contiene alrededor de un 3,5% de sales disueltas: cloruros, sulfatos y carbonatos de sodio, calcio y magnesio. También hay pequeñas cantidades de flúor, yodo y otros elementos. Todas estas sustancias son beneficiosas para el hombre, siempre y cuando no estén presentes en cantidades excesivas en el agua potable. La *desalinización* es el proceso por el cual las aguas salobres se purifican y se hacen aptas para el consumo humano, usos domésticos e industriales.

Planta de desalinización Aproximadamente en el año 360 a. de C., Aristóteles anunció que si se hacía cocer agua de mar en un ebullidor, el vapor condensado sería agua dulce y que, finalmente, se podía evaporar de esta manera todo el agua dejando un residuo de sales marinas. Este concepto fundamental fue la base sobre la que se desarrolló la primera planta desalinizadora, que utilizaba calderas de vapor alimentadas con carbón. El vapor se introducía a través de una larga serie de serpentinas donde se condensaba, y se recogía en forma de agua dulce. Este método, bastante costoso, se adaptó en un principio para utilizarlo en los barcos en ruta por el océano que no podían transportar suficiente cantidad de agua potable para viajes largos ni bastante agua dulce para las calderas de vapor que alimentaban los motores del buque.

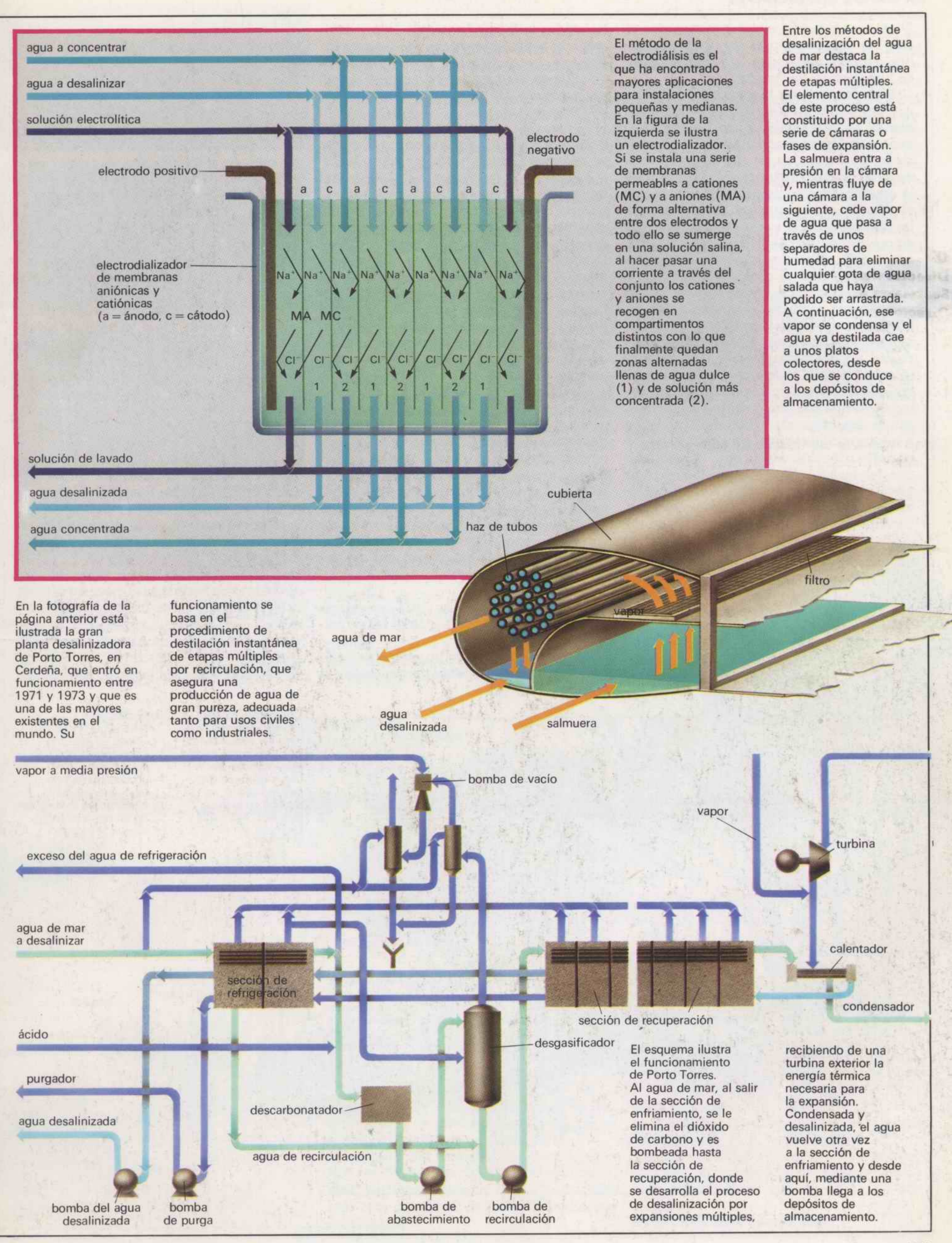
En la actualidad, el principal procedimiento para la desalinización del agua del mar es la *destilación instantánea*, ya que utiliza al máximo el calor latente a la vez que emplea temperaturas lo bastante bajas como para evitar los problemas de corrosión. El agua marina caliente pasa a una zona en la que la presión es más baja, por lo que parte de ella se evapora instantáneamente. En etapas sucesivas y escalonadamente se forman nuevas cantidades de vapor instantáneo, a presiones y temperaturas más bajas. En los últimos años se han construido grandes plantas potabilizadoras basadas en este procedimiento en regiones próximas al mar.

Otro método para la destilación del agua es la *evaporación por compresión del vapor*. Como en cualquier otro gas, cuando el vapor de agua es comprimido se eleva su temperatura. Si el vapor se condensa a elevada presión, el calor latente puede ser devuelto al líquido en ebullición del que procedía. En este principio se basa el desalinizador por compresión del vapor, cuyas instalaciones se pueden construir de modo que ocupen poco espacio, y es posible instalar grupos completos sobre medios de transporte que permitan su traslado de un lugar a otro.

Un proyecto digno de interés para las regiones desérticas subtropicales consiste en un destilador solar que funciona de forma bastante parecida a un gigantesco invernadero. En su suelo hay unos depósitos poco profundos que contienen agua salada, estando todo ello situado bajo un techo transparente. Con el calor del sol el agua se evapora y se condensa en la parte interior del techo, goteando el agua dulce dentro de los canales de recogida. Se trata de un proyecto que podría funcionar, pero requiere amplias superficies y no es adecuado para centros muy poblados.

Véase **Agua, potabilización del**





El método de la electrodiálisis es el que ha encontrado mayores aplicaciones para instalaciones pequeñas y medianas. En la figura de la izquierda se ilustra un electrodializador. Si se instala una serie de membranas permeables a cationes (MC) y a aniones (MA) de forma alternativa entre dos electrodos y todo ello se sumerge en una solución salina, al hacer pasar una corriente a través del conjunto los cationes y aniones se recogen en compartimentos distintos con lo que finalmente quedan zonas alternadas llenas de agua dulce (1) y de solución más concentrada (2).

Entre los métodos de desalinización del agua de mar destaca la destilación instantánea de etapas múltiples. El elemento central de este proceso está constituido por una serie de cámaras o fases de expansión. La salmuera entra a presión en la cámara y, mientras fluye de una cámara a la siguiente, cede vapor de agua que pasa a través de unos separadores de humedad para eliminar cualquier gota de agua salada que haya podido ser arrastrada. A continuación, ese vapor se condensa y el agua ya destilada cae a unos platos colectores, desde los que se conduce a los depósitos de almacenamiento.

En la fotografía de la página anterior está ilustrada la gran planta desalinizadora de Porto Torres, en Cerdeña, que entró en funcionamiento entre 1971 y 1973 y que es una de las mayores existentes en el mundo. Su funcionamiento se basa en el procedimiento de destilación instantánea de etapas múltiples por recirculación, que asegura una producción de agua de gran pureza, adecuada tanto para usos civiles como industriales.

El esquema ilustra el funcionamiento de Porto Torres. Al agua de mar, al salir de la sección de enfriamiento, se le elimina el dióxido de carbono y es bombeada hasta la sección de recuperación, donde se desarrolla el proceso de desalinización por expansiones múltiples, recibiendo de una turbina exterior la energía térmica necesaria para la expansión. Condensada y desalinizada, el agua vuelve otra vez a la sección de enfriamiento y desde aquí, mediante una bomba llega a los depósitos de almacenamiento.

Desertización

La desertización es un proceso por el cual algunas áreas de bosques, prados o tierras cultivadas se tornan áridas y se transforman en desierto.

Este proceso, en la mayoría de los casos, tiene su origen en las actividades humanas, aunque también puede estar causado por fenómenos naturales como períodos prolongados de sequía o erupciones volcánicas. El agente más decisivo es la erosión producida por el viento o por el agua; la causa principal de la marcada incidencia erosiva suele estar en el excesivo aprovechamiento de la tierra como pasto para el ganado o para cultivo, que acaba por agotar el suelo.

Los desiertos del mundo, que cubren una séptima parte de la superficie total de las tierras emergidas, son uno de los ambientes naturales de formación más reciente, ya que probablemente se remontan al final del Cenozoico. Pero los agentes que determinaron la aparición de estos desiertos son distintos de los que causan la desertización actual de los prados y terrenos cultivables. La formación de los grandes desiertos hay que relacionarla con fenómenos climáticos, como el régimen de precipitaciones, los vientos, las altas presiones, la cobertura de las nubes, y con los movimientos de asentamiento de la corteza terrestre. Las zonas áridas debidas a la actividad humana se suman a los desiertos ya existentes, pero no difieren en nada de ellos, a no ser porque en la mayor parte de los casos es posible prever su formación.

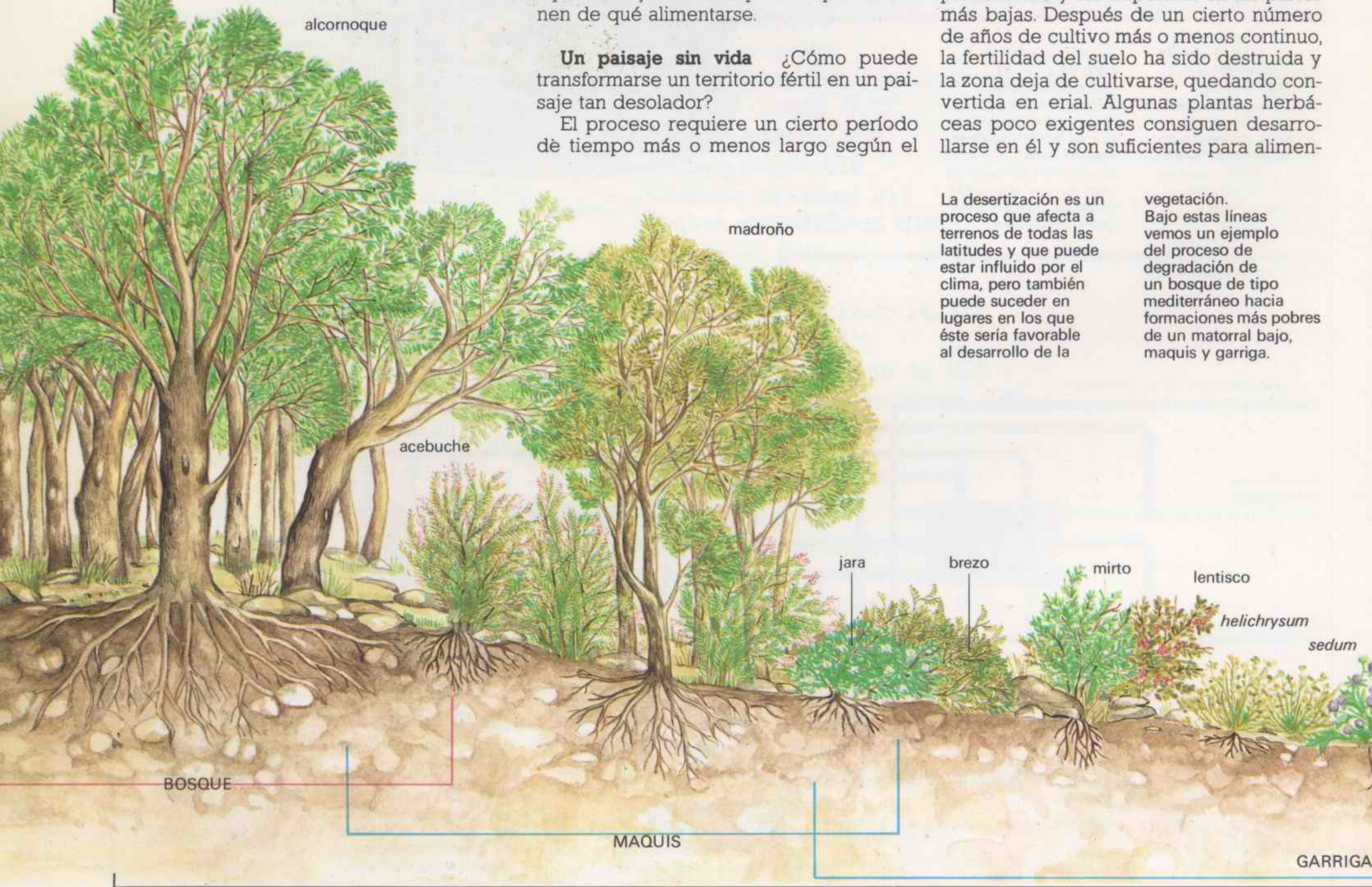
La erosión es el factor de modelado más importante que actúa sobre la corteza terrestre. Puede ser muy lenta, según los parámetros humanos de medida del tiempo, pero es muy eficaz. El intervalo de tiempo necesario para la erosión de una montaña y su transformación en una penillanura a través sólo de la acción del viento y del agua es de muchos millones de años. Ahora bien, aunque estas mismas fuerzas operan también en todos los ambientes naturales, no actúan en ninguno de ellos con la misma violencia que lo hacen en el desierto, y son los responsables de algunas de las creaciones naturales más espectaculares que existen.

La desertización causada por la actividad humana produce un tipo de desierto que tiene un aspecto peculiar, parecido a una zona de vertido de desechos. Las profundas cárcavas que atraviesan su superficie y cortan sus pendientes se transforman en torrentes cuando llueve. La vegetación de cualquier tipo es escasa o está ausente por completo, ya que la capa de suelo, cuando existe, es muy delgada. Apenas hay animales puesto que no tienen de qué alimentarse.

Un paisaje sin vida ¿Cómo puede transformarse un territorio fértil en un paisaje tan desolador?

El proceso requiere un cierto período de tiempo más o menos largo según el sustrato y la topografía del terreno, y las fuerzas que actúen sobre él. El proceso puede tener lugar en cualquier lugar, incluso en las zonas más húmedas del mundo, como las selvas ecuatoriales. Consideremos, por ejemplo, un terreno virgen situado a los pies de una cadena montañosa y observemos cómo se desarrolla el proceso de desertización. El primer paso es la pérdida de vegetación. El clima es seco, pero las precipitaciones, aunque limitadas, son suficientes para mantener con vida grupos aislados de árboles y pastos. Las raíces de las plantas ayudan a retener el agua de lluvia y evitan el arrastre de los materiales que forman el suelo; los árboles contribuyen a proteger el territorio de la violencia del viento a la vez que controlan el nivel hídrico de aquél.

Es la zona ideal para la explotación agrícola y pronto llegan los colonos. Talan los árboles y aran el terreno para después proceder a la siembra de cultivos herbáceos útiles al hombre. Los arados alzan el suelo y cortan las raíces de las hierbas que crecen en la pradera; a la vez que el cultivo impide que el manto de hierba vuelva a crecer. El suelo, sin protección entre un período de lluvias y otro, se reseca y el viento comienza su labor erosiva. El viento y la lluvia arrastran los materiales muebles de las zonas más altas del piedemonte y los depositan en las partes más bajas. Después de un cierto número de años de cultivo más o menos continuo, la fertilidad del suelo ha sido destruida y la zona deja de cultivarse, quedando convertida en erial. Algunas plantas herbáceas poco exigentes consiguen desarrollarse en él y son suficientes para alimen-



La desertización es un proceso que afecta a terrenos de todas las latitudes y que puede estar influido por el clima, pero también puede suceder en lugares en los que éste sería favorable al desarrollo de la vegetación. Bajo estas líneas vemos un ejemplo del proceso de degradación de un bosque de tipo mediterráneo hacia formaciones más pobres de un matorral bajo, maquis y garriga.







En la sabana, zona situada en los márgenes de las franjas desérticas tropicales, con lluvias escasas y estacionales, el peligro de avance del desierto es mayor que en otras zonas, y a menudo se produce por acción antrópica. En efecto, el pastoreo intensivo (la ganadería constituye la principal actividad de las poblaciones humanas asentadas en estas áreas) y la quema anual de las hierbas y arbustos para que rebroten en primavera más tiernas, y eventualmente para el cultivo de reducidas superficies, produce la erosión de la capa superficial de suelo y la formación de corazas lateríticas, que imposibilitan el desarrollo de cualquier tipo de vegetación.

tar a rebaños no demasiado numerosos y generalmente de ganado ovino. Mientras, los agricultores trasladan los campos de cultivo a las zonas limítrofes, todavía vírgenes, en un proceso idéntico al anterior.

En la zona de erial las fuerzas erosivas actúan ahora más rápidamente. El agua de arroyada, sin el obstáculo que constituye la vegetación, arrastra los materiales sueltos y forma cárcavas, que van profundizándose y ensanchándose continuamente.

Nubes de polvo Los terrenos de la llanura, que antes eran campos fértiles, se han reducido a una estepa rala y reseca sobre la que sopla el viento sin encontrar obstáculo alguno. El terreno seco es levantado en forma de nubes de polvo y transportado por el viento a lugares alejados: los campos pierden así su capa superficial de textura más fina.

Esto es lo que sucedió en América del Norte en los años treinta con las grandes tempestades de polvo, cuando la zona de las grandes llanuras se transformó en un desierto, obligando a emigrar a millones de campesinos.

Después de ésto, ningún ser viviente, ni hombre ni animal, está ya en condiciones de encontrar cobijo y alimento en esa zona. El terreno de superficie ha desaparecido transportado por el viento a centenares de kilómetros de distancia. Donde antes había árboles y praderas, ahora hay zonas en las que la roca madre ha aflorado a la superficie, y cuando llueve el agua no se filtra en el suelo sino que resbala por las cárcavas y el roquedo. A pesar de todo, esas tierras se pueden recuperar si se realizan fuertes inversiones económicas y siempre a muy largo plazo. La Historia ofrece un excelente ejemplo que se remonta a tiempos muy antiguos.

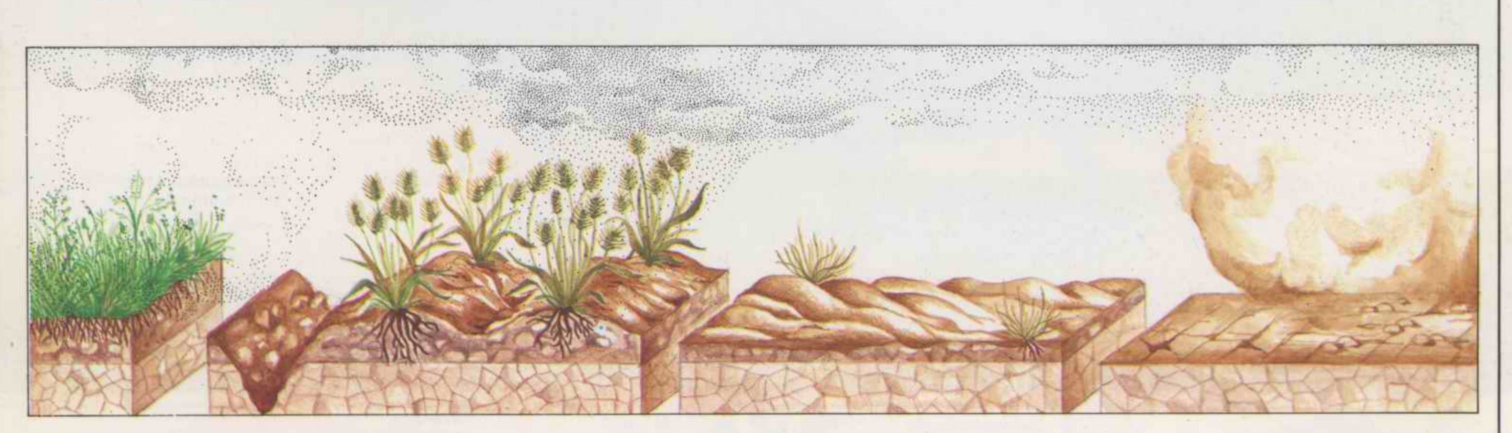
Se trata del desierto del Negev, que hoy en día es una parte importante de Israel, pero que durante siglos no ha sido más que una tierra desnuda y totalmente inhóspita.

En tiempos bíblicos, antes de que se convirtiese en un desierto, vivía en aquel lugar un pueblo de agricultores, los nabateos. Se trataba de un pueblo que poseía un excelente conocimiento de las técnicas de riego, adquirido un millar de años antes gracias a sus contactos con los fenicios. El Negev recibe de 50 a 100 mm de lluvia anual, y los nabateos conseguían aprovechar al máximo tan exigua cantidad de agua. Aunque inicialmente las pendientes de las colinas estaban socavadas por cárcavas, que la escorrentía de las aguas de lluvia ensanchaban y profundizaban continuamente, los campesinos construyeron canales y diques para controlar y dirigir el flujo del agua de forma que crearon pequeñas áreas de terreno fértil. En las pendientes y junto a los diques plantaron arbustos muy resistentes a la aridez para proteger el terreno de la erosión. Llegaron incluso a excavar cisternas en la roca, para garantizar una reserva de agua con que cubrir las necesidades de la población y los animales. Su sistema de regadío podría ser aún hoy un modelo de eficacia e ingeniosidad. Cereales, dátiles e higos eran los productos que los nabateos obtenían de un lugar tan desértico.

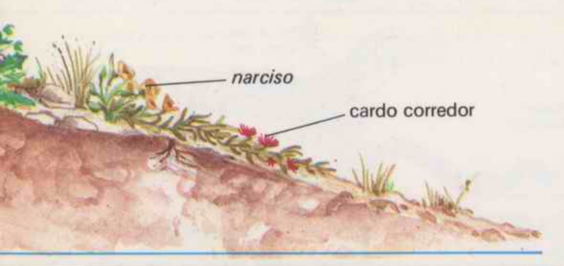
Un ejemplo para el mundo Construyendo modernos sistemas de regadío, parte de ellos sobre los restos del sistema hidráulico originario de los nabateos, los agricultores israelitas actuales han ampliado de forma espectacular la superficie cultivable del Negev: más de 400.000 hectáreas han sido puestas en cultivo. En las colinas se han plantado árboles y arbustos para contener la erosión de las vertientes.

El cultivo fundamental lo constituyen los cereales, si bien se han introducido también cultivos enarenados, bajo plásticos, etc. Es un empeño de gran alcance y rico en promesas que, en parte, ya son realidad.

Véase **Agricultura; Desierto; Suelo**



Sobre estas líneas, esquema de un proceso de desertización originado por la intervención humana. Con el fin de aprovechar las praderas originarias para cultivos a gran escala, se aran en profundidad grandes extensiones de terreno. De este modo, con el paso del tiempo, se destruye la capa superficial del suelo, que sin sujeción por parte de las raíces de las plantas es fácilmente arrastrada por la acción de fuertes vientos y de las lluvias, que acaban por eliminar la capa fértil sacando a la superficie la capa rocosa subyacente.



Desierto

El desierto es uno de los ambientes terrestres más sorprendentes. Lejos de ser esa monótona y vacía extensión de arena que la mayoría de la gente piensa que es su típico —si no único— aspecto, el desierto presenta una infinita variedad de formas: la superficie es multiforme y varía por la acción de los vientos; posee montañas y canales excavados por ríos ya desaparecidos, y que adquieren las formas más fantásticas. Está poblado por especies animales y vegetales, que presentan adaptaciones no menos variadas y sorprendentes que las observadas en los seres vivos que habitan el "mundo húmedo."

El ambiente desértico La principal característica de un desierto no es la arena, sino la aridez: en el desierto del Sáhara, sobre una superficie total de casi 8.500.000 Km^2, sólo un 10% aproximadamente está ocupado por dunas arenosas. Por definición, un desierto es un ambiente en el que anualmente se registra un máximo de 250 mm anuales de precipitaciones, y ésta es la característica fundamental que determina su clima, la composición de su suelo, su flora y su fauna. En los desiertos más áridos pueden no producirse lluvias durante varios años consecutivos, o caer en pocas horas una cantidad de lluvia incluso superior a la media anual. Por ejemplo, en el Sahara, hay localidades en las que aunque se registra una media anual de 120 mm de precipitación, puede no llover durante dos o tres años seguidos.

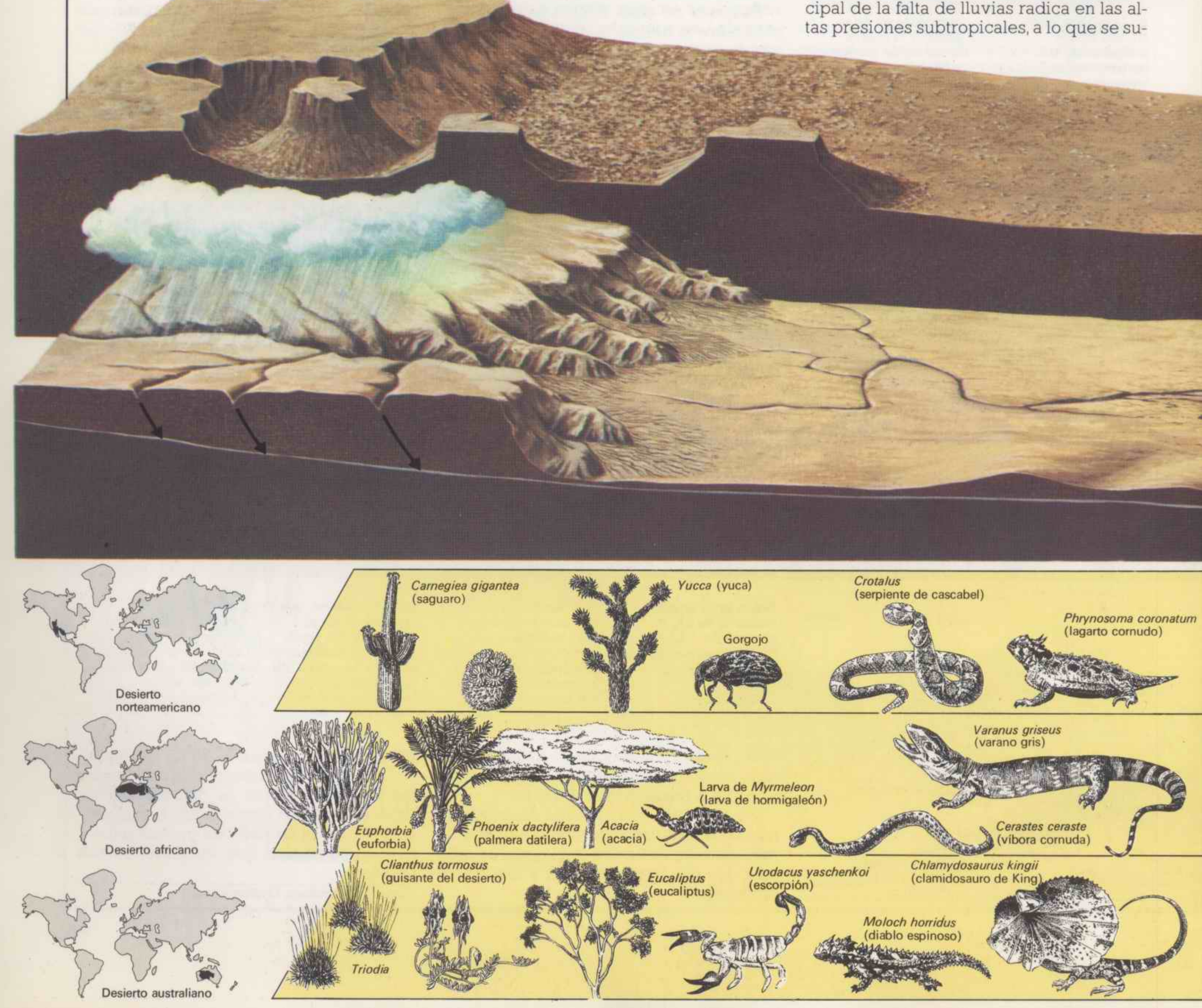
La sequía es también la causa fundamental de las elevadas temperaturas y de las fuertes oscilaciones térmicas diarias que caracterizan a la mayor parte de los desiertos del mundo. Podemos pues caracterizar los desiertos como zonas áridas, con enormes extensiones de suelo sin vegetación alguna, desorganización o ausencia total de redes fluviales y con bajísima densidad de población animal y humana.

Con todo, puede afirmarse que los desiertos muestran una gran variedad de características. El mayor de todos, el Sahara, presenta dunas de arena de más de 150 m de altura; en su extremo más oriental, el Negev, presenta la depresión del Mar Muerto que, situada a 394 m bajo el nivel del mar, resulta ser la cota más baja de la Tierra situada sobre los continentes.

El desierto iraní, con sus 380.000 Km^2, es el menor de los grandes desiertos, pero tiene dunas de arena de más de 200 m. El desierto más frío es el de Gobi, en China septentrional, donde las temperaturas descienden por debajo de los 0 °C. El más arenoso es el desierto de Arabia y el mayor en proporción con el continente en el que se encuentra es el desierto australiano, que cubre el 44% de todo el territorio.

Todas las grandes áreas desérticas tienen su origen en la circulación general de vientos. Según ella se pueden distinguir dos grandes tipos de desiertos: los *desiertos tropicales* y los *desiertos de piedemonte*.

Los desiertos tropicales A la altura de los trópicos aparecen unas franjas desérticas en las que las precipitaciones anuales son inferiores a 100 mm. La causa principal de la falta de lluvias radica en las altas presiones subtropicales, a lo que se su-



man la continentalidad, las grandes barreras montañosas y las corrientes marinas frías.

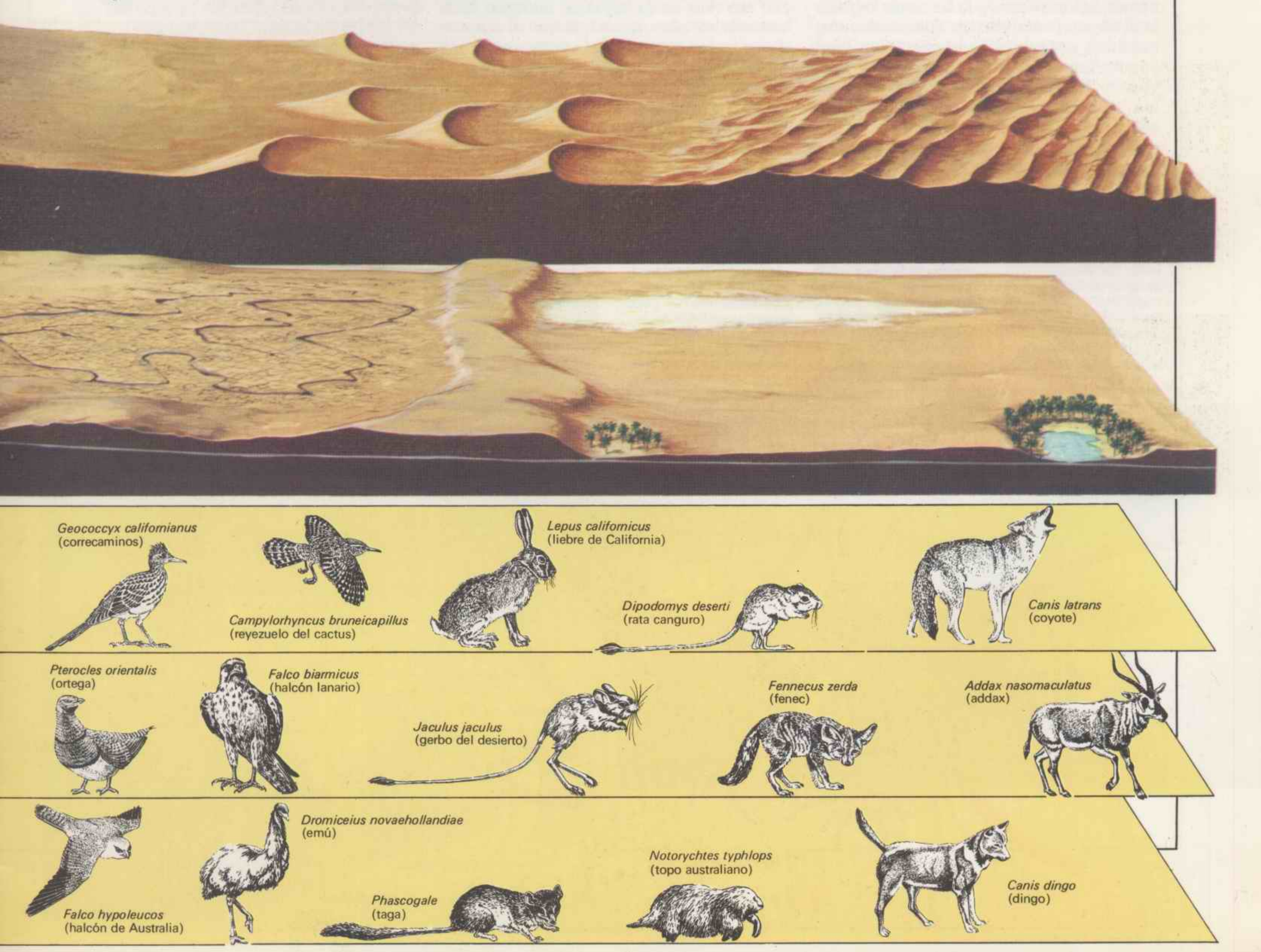
Se distinguen dos tipos de desierto tropical: el *continental* y el *costero*.

En los *desiertos continentales* el elemento condicionante del régimen termopluviométrico, además de las altas presiones, es la continentalidad, que acentúa la sequía y la oscilación térmica diaria. En una atmósfera con muy escasa cantidad de vapor de agua (humedad relativa 25% a 30%) el calentamiento del suelo durante el día es muy intenso, alcanzándose temperaturas de hasta 50 °C. Durante la noche la irradiciación de calor es también muy fuerte, pudiendo descender la temperatura incluso por debajo de los 0 °C.

Las escasas precipitaciones que se registran son debidas a la penetración esporádica de aire marítimo ecuatorial o tropical en las márgenes del desierto, que ocasiona lluvias de tipo torrencial. Es normal que muy de tarde en tarde caiga en pocas horas una cantidad mayor de lluvia que el total de uno o varios años. El caso más extremado y característico de este tipo de desierto es el Sahara, cuyo margen meridional registra precipitaciones ligeras originadas por la convergencia intertropical (CIT) en su desplazamiento estival hacia el Norte, mientras que la margen septentrional las recibe del frente polar, que muy ocasionalmente alcanza estas regiones en su avance invernal hacia el Sur. Así, en los bordes del desierto aparecen estrechas franjas esteparias que flanquean no sólo éste sino todos los desiertos y constituyen zonas de transición hacia climas menos secos. Tan escasa cantidad de lluvias permite sin embargo la existencia de vegetación discontinua en el espacio, raquítica y pobre, compuesta por plantas xerófilas, adaptadas a la escasez de agua. Estas plantas, vestigios residuales de las que en épocas anteriores —más húmedas— poblaron las zonas que hoy son estepas y desiertos, subsisten gracias a haberse adaptado a un medio cada vez más hostil, reduciendo su ciclo vegetativo, endureciendo sus tallos y hojas, desarrollando su capacidad para almacenar agua en hojas carnosas, etcétera.

Los desiertos continentales tropicales se prolongan hacia el Oeste en los *desiertos costeros*. Estas franjas costeras reciben la influencia de los anticiclones marítimos subtropicales que emiten vientos subsidentes muy estables y secos. Al descender sobre las aguas del océano recorridas por las corrientes frías —la de Humbolt en Chile, la de Benguela en Namibia, la de

En la ilustración inferior están reunidos y esquematizados algunos de los fenómenos más importantes del continuo ir y venir del desierto, las complejas formas de adaptación que representan los animales y las plantas para poder sobrevivir, el ciclo erosivo (a la izquierda) hasta la acumulación del material erosionado; fenómenos ligados a las precipitaciones lluviosas (centro), formación de dunas y oasis. En la tabla de la parte inferior, de arriba abajo, aparecen las especies vegetales y animales más típicas de los desiertos norteamericanos, africanos y australianos. Aunque el desierto suscite imágenes de desoladas extensiones de arena, silencios y soledades profundas, de un mundo casi sin vida, en realidad es un paisaje en el que se desarrollan procesos grandiosos y en el que tiene lugar uno de los ciclos de transformación de la topografía terrestre. Las grandes tempestades de arena, los cursos de agua efímeros, pero violentos, que quedan reducidos a complicadísimas redes de cauces secos, las enormes fluctuaciones térmicas en el transcurso de las veinticuatro horas del día son todos fenómenos violentos y periódicos que dejan profundas huellas en el paisaje desértico. La vida animal se ha adaptado más con el cambio de sus costumbres que con modificaciones estructurales propiamente dichas (la mayor parte de las especies tiene un comportamiento nocturno). El mundo vegetativo (cactus, acacias del desierto, paloverde) ha seguido en parte el mismo ejemplo, y en parte ha desarrollado formas nuevas y específicas.

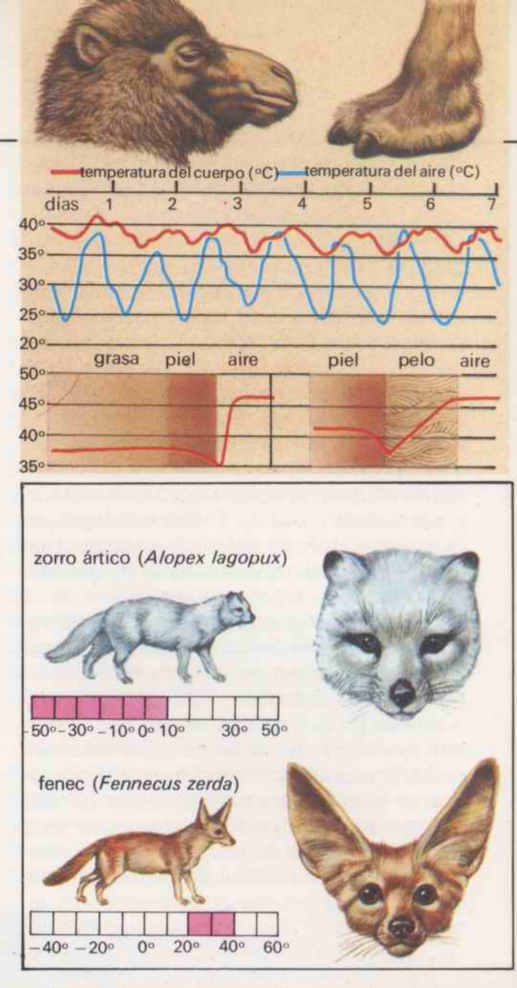


Canarias en la costa Oeste africana—, esos vientos se enfrían, pero su bajo contenido en vapor de agua únicamente permite que, al abordar el continente, produzcan nieblas y rarísima vez lluvias. Gracias a esas nieblas pueden subsistir algunas plantas que han sido capaces de adaptarse para obtener directamente del aire la humedad necesaria para su desarrollo. El efecto más importante de las corrientes marinas es que moderan las temperaturas, de forma que la diferencia entre la temperatura media del mes más cálido y la del mes más frío no suele ser superior a 6 ºC, y las amplitudes térmicas diarias son muy bajas. Este es el rasgo más importante que caracteriza el régimen térmico de los desiertos costeros tropicales.

Los desiertos de piedemonte Llamados también *desiertos de abrigo* se forman en correspondencia con la vertiente de sotavento de las grandes cadenas montañosas. En latitudes medias la circulación de vientos predominante es del oeste. Cuando una masa de vientos que se traslada horizontalmente se ve obligada a ascender para superar un obstáculo orográfico, se enfría, desciende su punto de saturación, se condensa el vapor de agua, se forman nubes y se producen precipitaciones en la vertiente de la montaña expuesta al viento (barlovento). Cuando esa misma masa de aire salva el obstáculo, llega a la vertiente opuesta ya desecada (sotavento). Además, al descender se comprime y calienta adiabáticamente, alejándose cada vez más de su punto de saturación, de ahí que no precipite. Ello explica que a sotavento se produzca una *sombra pluviométrica*. Este mecanismo no produce gran sequía en zonas de vientos cambiantes como los Alpes suizos, pero da lugar a auténticos desiertos cuando el flujo de vientos es permanente y de dirección constante; ejemplos de este tipo de desiertos son el de la Patagonia y el de Mohave, a sotavento de los Andes (América del Sur) y de la Sierra Nevada (América del Norte) respectivamente.

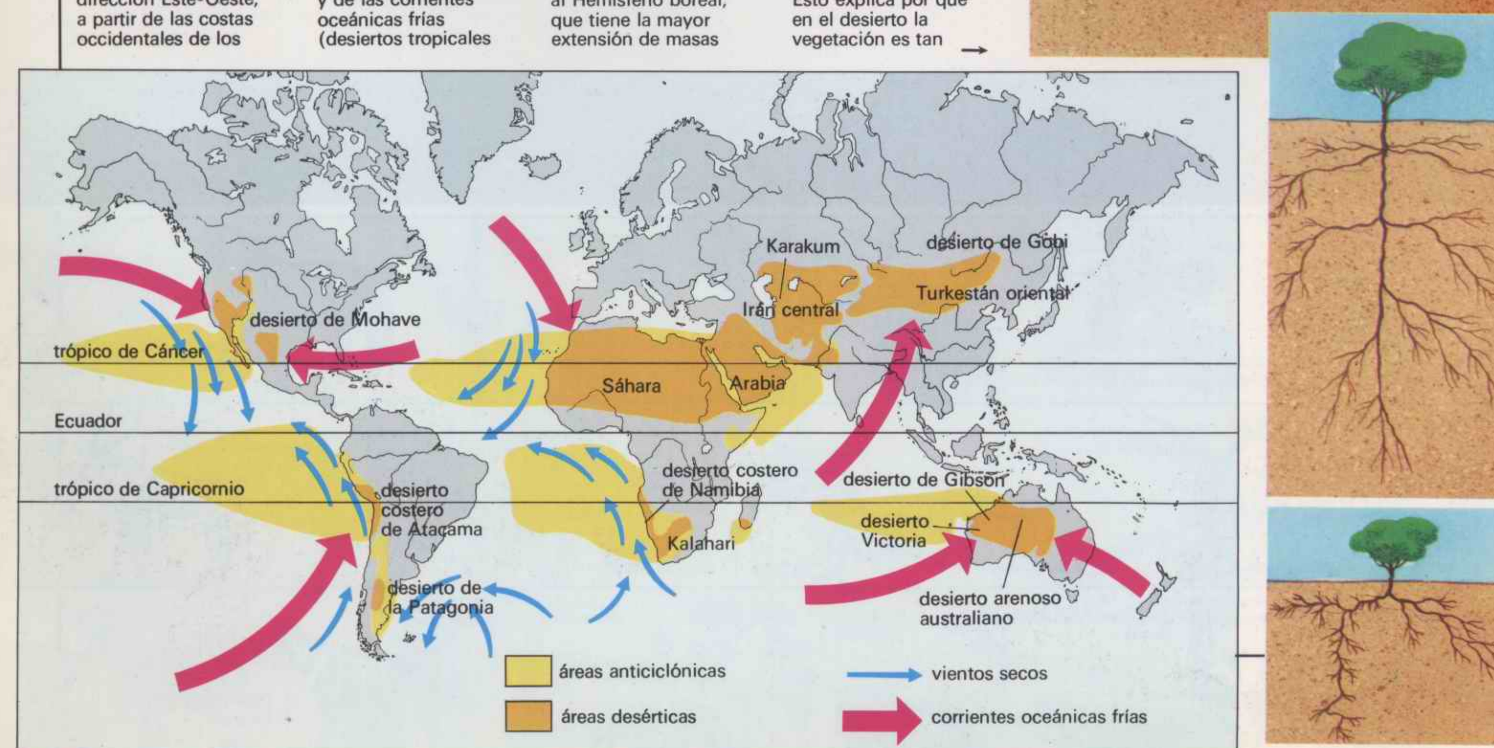
El paisaje desértico El paisaje de los desiertos se da, en parte, por los mismos procesos que han modelado la superficie terrestre: erupciones volcánicas, plegamientos y fracturas de la corteza, deposición de sedimentos, etc. Pero lo que no ha actuado en otros paisajes y que en cambio en el desierto desarrolla un papel clave es un factor ya mencionado: la aridez.

Las colinas y las montañas adquieren un aspecto característico porque las vertientes no aparecen recubiertas por manto vegetal alguno, ni experimentan la dinámica erosiva del agua. Pendientes de roca, grava y arena se abren en abanico en sus bases sobre amplias cuencas, conocidas como playas, que son a menudo restos de antiguas cuencas lacustres. Alimentados con las sales aportadas por los sedimentos, por las aguas superficiales y por los ríos, estos lagos se hicieron cada vez más salados, a medida que el agua se evaporaba, transformándose en lagos "amargos" o en lagos "salados", dependiendo del tipo de sales que predominara, pero siempre con un alto contenido salino, como el Mar Muerto o el Gran Lago Salado de Utah, para después desaparecer dejando grandes áreas planas.



Evasores y almacenadores Las plantas, para sobrevivir a pesar de la aridez, han desarrollado dos modelos fundamentales de adaptaciones. Están las que han resuelto el problema manteniéndose en un estado de vida latente durante los períodos de sequía, pero en situación de po-

En el mapa, los principales desiertos del mundo. Como puede verse, las áreas de altas presiones tropicales se prolongan en el océano en dirección Este-Oeste, a partir de las costas occidentales de los continentes. La distribución de las áreas desérticas depende fundamentalmente de la circulación atmosférica (desiertos tropicales continentales), de ésta y de las corrientes oceánicas frías (desiertos tropicales costeros), y de los obstáculos orográficos que condicionan la sequedad de los vientos (desiertos de abrigo). Las áreas desérticas más extensas pertenecen al Hemisferio boreal, que tiene la mayor extensión de masas continentales. A la derecha, competencia entre las especies vegetales. Cada planta lucha, con la expansión de su aparato radical, por la conquista del agua. Esto explica por qué en el desierto la vegetación es tan →



der germinar y desarrollarse rápidamente en los breves períodos húmedos: son las plantas que en cierto sentido han conseguido "escapar" del desierto, puesto que vegetan y se reproducen sólo cuando las condiciones adversas de este ambiente se suspenden momentáneamente. Por otra parte están las que consiguen sobrevivir desarrollando la máxima eficacia en la absorción del agua del terreno, y en su almacenamiento en los tejidos de reserva, junto a la capacidad de sobrevivir con mínimas cantidades de líquido.

Los más conocidos "almacenadores" de agua son los cactus, que van desde pequeñas especies de pocos centímetros de altura a plantas gigantescas que alcanzan los 20 metros de altura. Gracias a su pulpa carnosa y suculenta, y a su espesa epidermis cuya superficie aumenta por los enormes pliegues, están en condiciones de hincharse almacenando grandes cantidades de líquido. Su sistema de raíces se expande sobre una amplia superficie, pero no se extiende en profundidad, contrariamente a lo que se observa en algunos árboles o arbustos, como las acacias del desierto, que desarrollan sus raíces en el subsuelo hasta alcanzar las capas del acuífero; si bien en estas últimas, al comienzo de la fase de crecimiento, las raíces se desarrollan en el subsuelo hasta alcanzar el agua y sólo entonces crecen las partes aéreas. Plantas como el paloverde y el llamado leño-hierro tienen semillas con tegumentos tan fuertes que pueden sobrevivir durante años a la acción directa del sol, en espera de que, con la llegada de la lluvia, se verifiquen las circunstancias favorables para su germinación.

Las reservas de agua de las plantas almacenadoras pueden estar contenidas tanto en las partes aéreas (caso de las cactáceas), como en las subterráneas: grandes tubérculos, raíces muy desarrolladas y porciones de tallo subterráneo oportunamente modificadas.

La supervivencia de los animales La vida de los animales en los desiertos, como en cualquier otro ambiente, depende directa o indirectamente de la de las plantas, y sus adaptaciones a la sequía presentan a menudo puntos comunes con las del mundo vegetal. Por ejemplo, los insectos, que son los habitantes más abundantes de los desiertos, presentan huevos y larvas protegidos por tegumentos extraordinariamente resistentes, aunque muchos insectos poseen vida activa también en los períodos áridos cuando son adultos. Saltamontes y lagartijas constituyen una importante fuente de alimentación para pájaros, reptiles y mamíferos, sin excluir al hombre.

La mayor parte de las especies muestra un comportamiento nocturno, porque el problema principal de la mayoría de los animales del desierto es la de encontrar un refugio eficaz durante las horas de sol; las pocas especies diurnas, entre las que hay algunas lagartijas y serpientes, encuentran refugio debajo de las piedras. Para los anfibios, que necesitan una cierta humedad para su supervivencia, es indispensable en cambio un largo período de letargo durante la estación seca; los sapos, por ejemplo, se refugian en madrigueras subterráneas en las que pasan casi todo el año hasta la llegada de las lluvias.

Entre los pájaros, los más abundantes son los insectívoros, seguidos por las especies granívoras, como codornices y palomas. Búhos, halcones y buitres son las principales aves rapaces y se alimentan principalmente de pequeños roedores (gerbos, rata canguro, geómidos).

Una de las más típicas e insólitas características de la vida en el desierto es su frenético ritmo de desarrollo en correspondencia con los breves períodos de lluvias. Por ejemplo, reptiles como las lagartijas, serpientes y tortugas depositan prontamente sus huevos en el terreno húmedo, y cuando se abren, nacen las crías en una avanzada fase de desarrollo, siendo ya totalmente independientes. Cuando el sapo sale de su refugio al primer asomo de lluvia, busca rápidamente un charco donde fecundar a la hembra y depositar los huevos. Así, cuando éstos se abran, casi cuatro semanas después, los jóvenes sapos (que mientras tanto habrán superado la fase de renacuajos al resguardo de la cáscara del huevo) tendrán tiempo de disfrutar de los últimos días de humedad para almacenar una gran cantidad de alimentos, para cavarse un refugio y prepararse a pasar, ya totalmente independientes, su primer y largo período de letargo. Muy similar es el comportamiento de muchas plantas: en un intervalo de tiempo que puede también ser inferior a dos meses, germinan, crecen, florecen, producen nuevas semillas y por fin, después de haber asegurado la supervivencia de la especie, mueren.

Véase **Desertización; Erosión; Suelo**



→ escasa y el volumen del aparato radical de una planta es mayor que su parte aérea. La expansión radical puede ser horizontal, para aprovechar la humedad de condensación, o en profundidad, para alcanzar las capas freáticas.

En la página anterior, arriba, dos ejemplos de animales del desierto: el dromedario tiene la posibilidad de cerrar la nariz para evitar la penetración de la arena; además tiene un cojinete adiposo en las patas que le facilita caminar sobre terreno arenoso.

El fenec tiene grandes orejas termorreguladoras, a diferencia del zorro polar que tiene el problema inverso. En esta página, dos aspectos del desierto y un invernadero, en un intento de conquistar este ambiente para la agricultura.



Desinfectantes

Cada vez que se limpian los cuartos de baño con una esponja empapada en desinfectante, el efecto conseguido no es solamente el de hacer que huelan bien. De hecho, la *desinfección*, en relación con la esterilización (destrucción de todos los gérmenes), consiste en la destrucción de los microbios que puedan ser causantes de una enfermedad. Los desinfectantes se emplean también en los hospitales para el material quirúrgico, los suelos, las paredes y las sábanas. Se diferencian de los antisépticos en que éstos se aplican exclusivamente en tejidos vivos, mientras que los desinfectantes se emplean sólo sobre objetos inanimados. En muchos casos los desinfectantes actúan destruyendo las proteínas celulares o evitando la proliferación de microorganismos, pero existen muchos tipos de desinfectantes, con formas de actuación muy diversas.



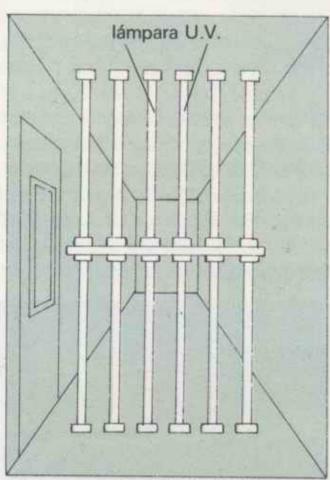
Arriba, un aparato Microsol 202 capaz de transformar cualquier líquido en aerosol. Se utiliza en tratamientos de desinfección, y constituye un método considerado científicamente como de los más eficaces. De hecho, la nebulización lleva a un gran aumento de la superficie de acción de los principios activos, y en consecuencia a una fuerte intensificación de su eficacia. El desinfectante se difunde así en una distancia de 10 metros y permanece en suspensión en el aire, llegando hasta los gérmenes y microorganismos existentes en la estancia.

Tipos de desinfectantes Las sustancias desinfectantes se pueden emplear para destruir o para impedir la proliferación de una gran cantidad de formas de vida microscópicas o submicroscópicas (no visibles con el microscopio óptico), por lo que se pueden subdividir en desinfectantes antibactéricos, antimicóticos, antiprotozoicos, antiparasitarios o antivirales, según el tipo de microorganismos contra los que son capaces de luchar. Los que destruyen realmente los microbios, a menudo por destrucción de las proteínas de la célula, se conocen con el nombre de *bactericidas* o *germicidas* (el sufijo "—cida" significa "que mata"), mientras que los que simplemente evitan o inhiben el crecimiento de los gérmenes se llaman *bacteriostáticos* (el sufijo "—stático" significa "que detiene").

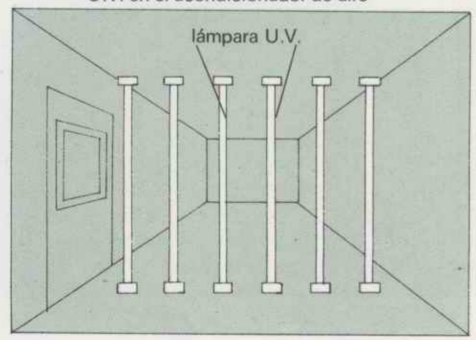
Desinfectantes más importantes Observando la composición de un desinfectante cualquiera, se puede reconocer la presencia de cierto número de compuestos químicos.

Los compuestos de amonio se utilizan especialmente para desinfectar cubiertos, platos, vasos, cacerolas y otros utensilios de cocina. Actúan desnaturalizando las proteínas celulares y provocando por lo tanto la muerte de los microorganismos.

De igual modo actúan los alcoholes, que son empleados como desinfectantes en una concentración de hasta el 96%; el más utilizado es el alcohol etílico. El yodo se utiliza muy a menudo para la desinfección del instrumental quirúrgico por su capacidad de hacer precipitar las proteínas celulares. Los derivados del alquitrán mineral, la plata, el cobre y el mercurio impiden el crecimiento de las células y se emplean para desinfectar paredes y suelos. El olor de estos derivados, generalmente molesto y a veces nauseabundo, es

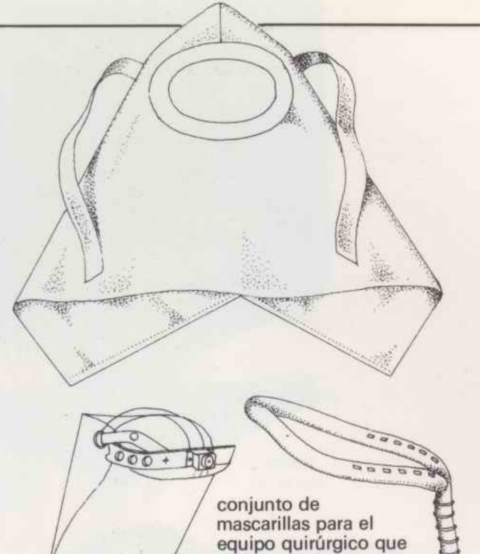


ejemplos de disposición de lámparas U.V. en el acondicionador de aire

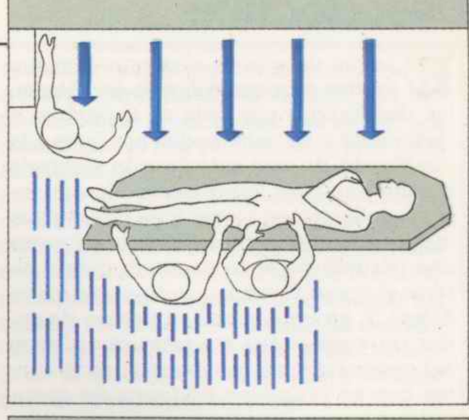


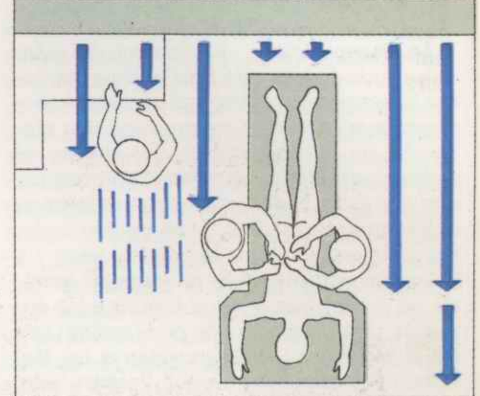
Arriba, esquema de una instalación de desinfección en una sala de operaciones. La acción desinfectante se efectúa con lámparas de rayos ultravioleta (lámparas U.V.), que son empleadas exclusivamente para la desinfección del aire de dichas salas y de los departamentos dedicados al tratamiento de enfermedades infecciosas. Las lámparas U.V., generalmente de forma tubular (en el esquema de arriba se ven dos ejemplos), pueden estar instaladas unidas al acondicionador de aire.

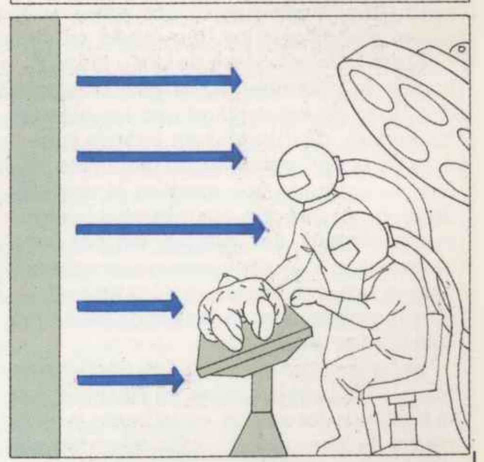
Los procesos de desinfección y esterilización en una sala de operaciones han alcanzado un grado de perfección inimaginable hace no muchos años. De reciente aplicación, además de la máscara de policarbonato con collar unido a un tubo flexible para expulsar el aire aspirado por el equipo quirúrgico en el campo operatorio (a la derecha), es el empleo de los flujos laminares. Este método consiste en la emisión de flujos de aire por una pared densamente perforada y provista de los filtros oportunos. El aire, que sale a una velocidad de 21 a 23 metros/minuto en dirección horizontal respecto al campo operatorio (dibujo bajo estas líneas), tiene el efecto de quitar de su sitio y alejar de él toda partícula, incluso de tamaño submicroscópico. Naturalmente el equipo quirúrgico debe tener cuidado de no interponerse entre el enfermo y el flujo (arriba y en el centro de la secuencia de la derecha), porque si no éste se vería interrumpido y su efecto quedaría anulado, no es necesario tampoco apartarse del campo operatorio, sino colocarse en posición perpendicular al flujo (a la derecha, abajo).

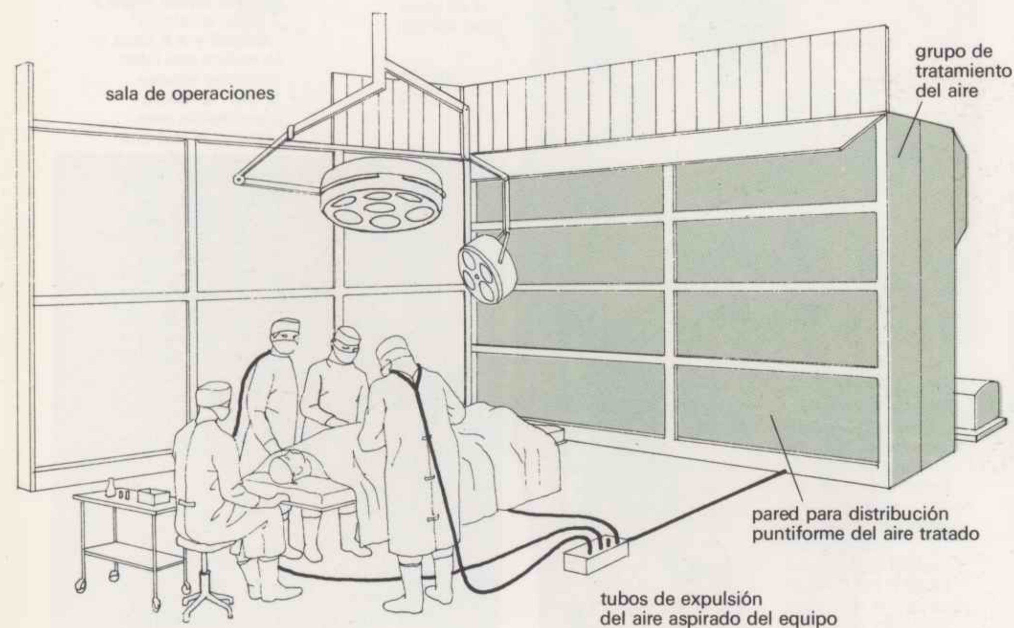


conjunto de mascarillas para el equipo quirúrgico que actúa con sistema de ventilación por flujo laminar









a menudo enmascarado por la adición de aceites aromáticos. También los aldehidos son útiles como desinfectantes porque envenenan a los microorganismos.

El cloro, frecuentemente utilizado como desinfectante en las piscinas, se combina con el agua: de esta reacción se libera oxígeno, así como ácido hipocloroso e ion hipoclorito. El cloro, bajo esta forma, puede oxidar los microbios combinándose con determinados compuestos químicos. De este modo los microbios se ven privados de sustancias esenciales para su supervivencia y mueren.

Por desgracia, muchos desinfectantes pueden perder su eficacia en presencia de sangre, pus, excrementos y otros materiales orgánicos, y algunos de ellos pueden resultar dañinos para los tejidos humanos. Sin embargo, un desinfectante puede destruir rápidamente las bacterias, los hongos, los virus y los protozoos sin corroer por ello el instrumental quirúrgico y sin destruir o deteriorar el material sobre el que se aplica. Los desinfectantes representan por lo tanto un potente medio de lucha contra ciertas enfermedades si se utilizan en el momento oportuno.

TIPOS DE DESINFECTANTES MAS COMUNES

sustancia	acción	aplicación
alcohol etílico	bactericida (no esporicida)	lesiones de la piel
ácido bórico	bacteriostático	lesiones cutáneas, mucosas y ojos
ácido salicílico	queratolítico	piel
tintura de yodo	bactericida	piel
hipoclorito sódico	bactericida	lavado de heridas infectadas
agua oxigenada	bactericida	colutoria, lesiones cutáneas
mercurio amoniacal	bactericida	infecciones cutáneas, enrojecimientos
hexaclorofeno	bactericida	piel, desinfección quirúrgica
tensoactivos	antisépticos	piel
azufre	fungicida, parasiticida	piel

Otra de las formas de desinfección más empleadas es el calor, considerado como uno de los medios más eficaces. Generalmente se emplea el calor húmedo (agua caliente, vapor de agua) o el calor seco. Al hervir algo en agua durante unos 10 minutos se mata toda forma de vida vegetativa microbiana, aunque algunas esporas pueden resistir; es una forma de desinfección apta para la ropa y para instrumentos pequeños. El vapor de agua saturado se utiliza bajo presión en autoclaves, donde puede alcanzar temperaturas elevadas: a 110-112 °C todas las formas bacterianas mueren en 15 minutos. También la ropa blanca, el material médico y el instrumental quirúrgico pueden ser sometidos a este tratamiento.

Véase **Cirugía**

Desodorante

El hecho de que en el cuerpo humano existan muchos millones de glándulas distribuidas por toda su superficie y destinadas a secretar sudor, nos lleva a la conclusión de que esta función concreta reviste una gran importancia. Sin embargo, la sudación es susceptible de acarrear ciertos inconvenientes. Cuando provoca una pérdida de agua excesiva puede alterar el correcto funcionamiento de los riñones. Y, en otros casos, el exceso de sudor provoca olores molestos que deben ser combatidos con productos desodorantes que se presentan en forma de *spray*, polvos, barras, líquidos y cremas.

La transpiración El sistema de glándulas sudoríparas está destinado a mantener la temperatura corporal constante (*homeotermia*). Cuando se produce una elevación de la temperatura del cuerpo, el sudor opera como un mecanismo regulador y ayuda a que el cuerpo mantenga una temperatura ideal. La secreción sudoral varía en relación a la edad, al sexo y a la región corpórea. Las mujeres en general no sudan como los hombres y las zonas de mayor sudoración de la mujer (axilas e ingles) no corresponden a las del hombre (frente, tórax y pies). Por otro lado, normalmente los sujetos con poco vello sudan menos que los que tienen mucho.

El ser humano posee de dos a cinco millones de *glándulas sudoríparas*. Existen dos tipos de estas glándulas: las *glándulas ecrinas*, distribuidas en toda la superficie de la piel, secretan, de manera continua, sudor fluido que asegura el contenido de humedad que contribuye a la regulación térmica del cuerpo, sin por esto causar olor. Son absolutamente necesarias para la supervivencia, sin ellas no podríamos resistir temperaturas superiores a los 26,5 grados centígrados.

Las *glándulas apocrinas* se encuentran sobre todo bajo las axilas, en las ingles, en la palma de las manos, en la frente y en la planta de los pies. Estas glándulas dan origen a otra forma de sudor más espeso, que es liberado como forma de reacción a fenómenos de *stress* y a estados emocionales. Las bacterias presentes sobre la superficie de la piel reaccionan con la secreción de las glándulas apocrinas, causando el característico olor que los desodorantes tienden justamente a eliminar.

Desodorantes y productos antitranspirantes El primer desodorante se comercializó en 1888 en los Estados Unidos y dominó el mercado hasta que se introdujeron los productos antitranspirantes en 1902. Los primeros tipos, empleados sobre todo por las mujeres, eran burdos y a menudo producían exantemas bajo las axilas.

Mientras que un baño o una ducha, aun empleando jabones de los llamados desodorantes, eliminan únicamente el olor emanado de la superficie de la piel, un desodorante contiene compuestos antisépticos desinfectantes que moderan y disminuyen el desarrollo de las bacterias. Contienen sales de aluminio y compuestos



A la izquierda, las partes del cuerpo humano más sujetas a la sudación, que origina posteriormente un olor desagradable. La temperatura ambiente elevada y el *stress* favorecen la sudación. Aquellas partes del cuerpo con una concentración mayor de glándulas sudoríparas son los puntos en los que se debe actuar con los medios de prevención. La sudación excesiva es llamada *hiperhidrosis*, y *bromohidrosis* si está acompañada de un olor muy desagradable. La pérdida del agua del organismo mediante la traspiración puede ser de 1 litro al día, aunque puede llegar a 2 litros si éste es caluroso y a 8 litros si se realiza una labor muscular intensa. Si bien el medio insustituible para eliminar el mal olor corporal es el lavado frecuente, el uso de productos desodorantes para atenuar la intensidad de los efectos de la sudación está, como ya se ha dicho, cada día más difundido. Abajo vemos, esquematizados, los preparados más comunes.

BARRA

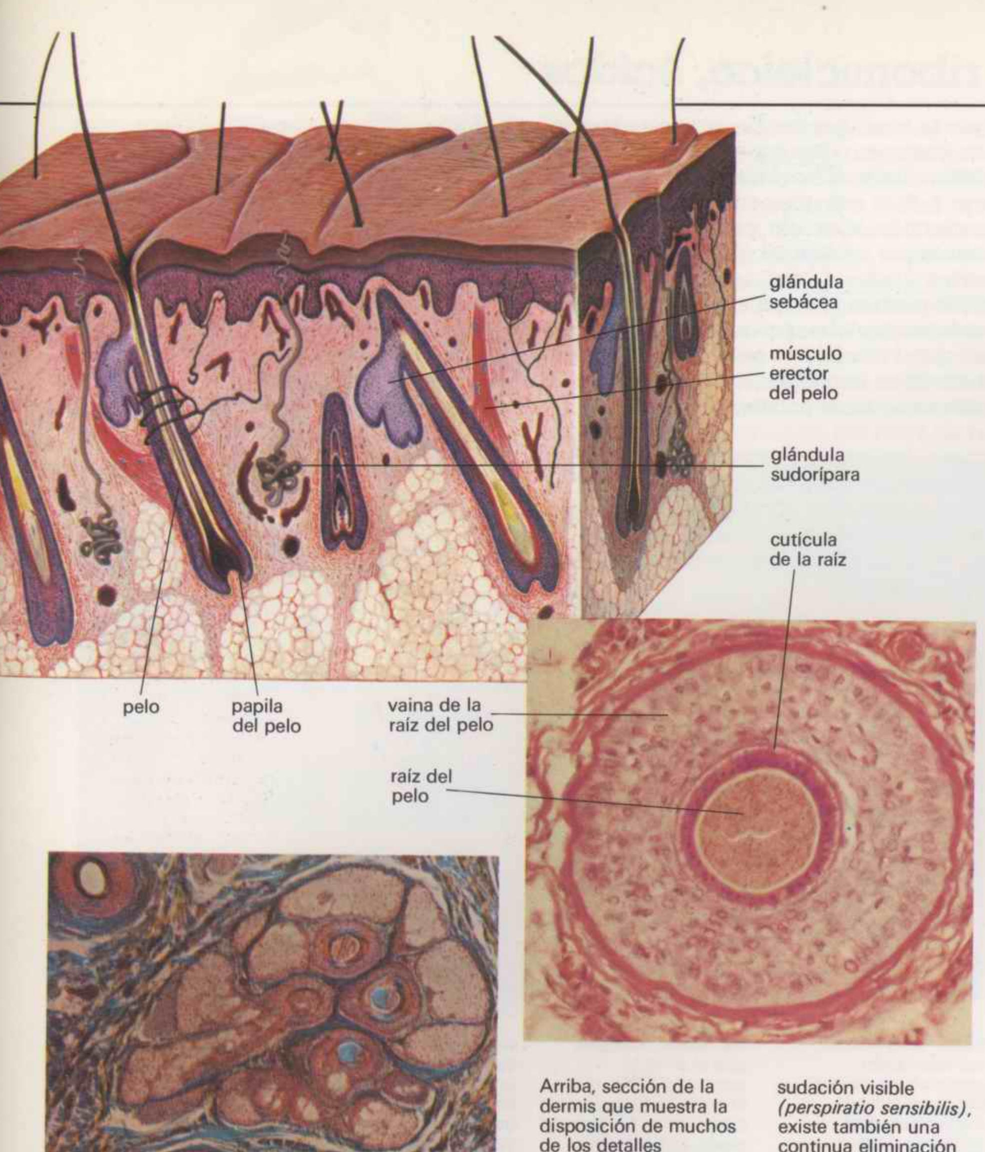
Es, junto al *spray*, la forma más difundida. El primer desodorante en barra estaba hecho a base de ácido bórico y óxido de cinc. En las soluciones hidroalcohólicas ligadas, la gelificación es conferida por el estearato de sodio; de este modo se obtiene la barra alcohólica. Las barras analcohólicas se hacen a base de propilenglicol y butilenglicol; no otorgan la misma sensación de frescura que las alcohólicas, pero son más toleradas por las pieles delicadas. Las barras pueden tener acciones desodorantes o antitranspirantes.

químicos que bloquean la acción de las glándulas apocrinas, provocando una disminución de la secreción del sudor. Los científicos no han podido encontrar otras funciones de las glándulas apocrinas además de las de segregar el sudor cuando el cuerpo se encuentra en estado de tensión, por lo que han concluido que se pueden usar los compuestos antitranspirantes sin interrumpir ninguna función basilar del cuerpo. En general, el empleo de desodorantes no presenta inconvenientes, excepto en el caso de que den lugar a fenómenos de intolerancia cutánea.

Mientras que el olor emanado por el cuerpo humano puede ser prácticamente eliminado con el empleo de jabones y desodorantes, los olores en el aire, como los producidos por la cocción de los alimentos o los causados por ciertas actividades industriales, requieren otros métodos. Una de las vías más eficaces para sofocar estos olores se basa en el empleo de los glicoles, compuestos químicos que son vaporizados o rociados en el aire de modo que consiguen absorber las moléculas que causan estos desagradables olores. A tal fin pueden también ser empleadas sustancias sólidas como el carbón, el gel de sílice y los silicatos. Las soluciones y los *spray* antisépticos combaten los olores matando a los microorganismos que contribuyen a su formación, particularmente eficaces son las soluciones a base de fenol y cresol, derivados del alquitrán mineral. También los peróxidos, el ácido bórico, el cloro y el yodo son empleados para combatir los olores desagradables.

En la medicina natural, la sudación se combate con productos naturales, como la ingestión de verduras, ya que la clorofila que contienen posee una marcada acción antibacteriana; también, bebiendo infusiones o aplicando directamente al cuerpo bolsas con alcanfor u hojas de crisantemo; la aplicación en las axilas de salvia, perejil, berros, lechuga, hojas de remolacha o rábanos da también buenos resultados, así como friccionar el cuerpo con aceite de lavanda.

Véase **Higiene**



Arriba, sección de la dermis que muestra la disposición de muchos de los detalles anatómicos de la zona de piel en la cual se origina el sudor. Las glándulas sudoríparas tienen una estructura tubular, con un glomérulo secretor y un conducto excretor, y penetran en los estratos más profundos de la dermis y en los más superficiales de la hipodermis. Además de la sudación visible *(perspiratio sensibilis)*, existe también una continua eliminación de líquido que perdemos de forma imperceptible a través de la piel *(perspiratio insensibilis)*. Sobre estas líneas, sección del folículo capilar. A la izquierda, glándulas sebáceas secretoras de una sustancia grasa, que en muchos animales tiene la función de engrasar la piel.

LIQUIDOS

Se trata de soluciones acuosas e hidroalcohólicas. Se aplican sobre la piel por medio de dosificadores de esfera *(roll-on)*. El principio activo está generalmente constituido por clorohidroxilactato de aluminio, que tiene acción astringente y antibacteriana.

POLVOS

Los polvos aspersorios son usados generalmente para secar la humedad de la piel después del baño; están generalmente compuestos de talco, almidón, óxido de cinc y carbonato de magnesio, debidamente combinados. Agregando productos antibacterianos o astringentes se obtienen polvos desodorantes o antitranspirantes, cuyo uso se limita sin embargo a las extremidades inferiores.

SPRAY

Son ampliamente usados, ya sean alcohólicos o analcohólicos. Están constituidos por clorhidrato de aluminio, solo o mezclado con otras sustancias.





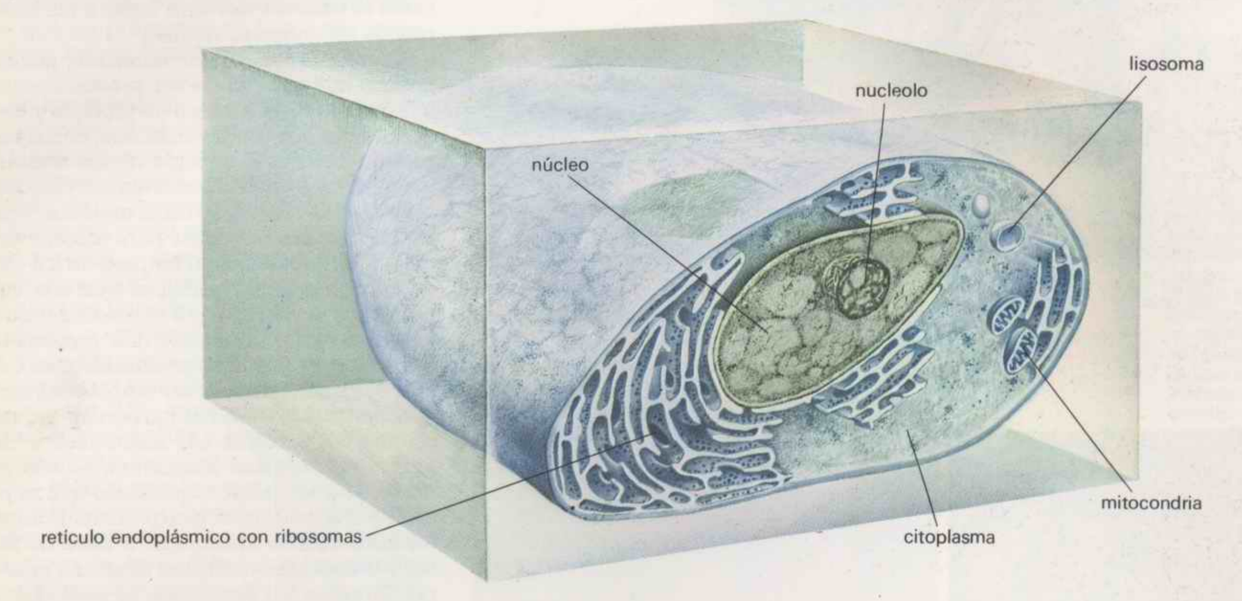
Desoxirribonucleico y ribonucleico, ácidos

El ácido desoxirribonucleico o, más brevemente, ADN fue descubierto en 1867. Se trata de una sustancia de gran importancia biológica por cuanto controla el metabolismo celular al determinar la estructura de las proteínas de la célula y, además, su duplicación es un prerrequisito necesario de la división celular. Tanto la división celular como la síntesis de proteínas son procesos sumamente complicados, de modo que no los describiremos aquí en todos sus detalles. A pesar de su extrema complejidad, ambos procesos se repiten en nuestro organismo constantemente. Las células se dividen para permitir el crecimiento de los embriones e individuos jóvenes y para sustituir a las células gastadas en los adultos o, en el caso de las células germinales (óvulo y espermatozoide), para crear un nuevo ser. La síntesis incesante de nuevas proteínas bajo la dirección del ADN es necesaria para mantener la vida de las células y permitir su división. La importancia del ADN para la vida es tal que, así como se ha dicho que una gallina es tan sólo el medio de que se sirve un huevo para hacer más huevos, algunos autores han afirmado que los seres vivos son máquinas empleadas por el ADN para replicarse y propagarse.

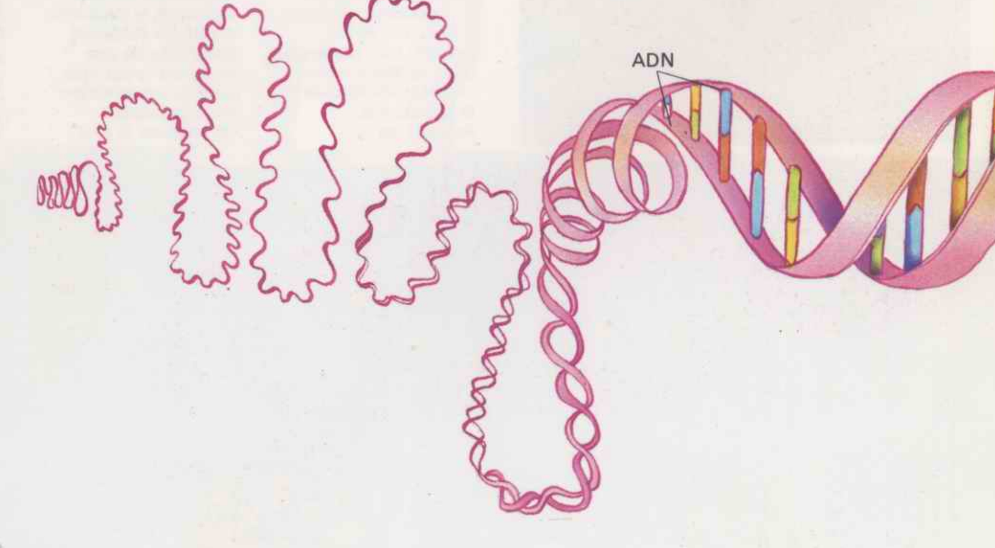
Las moléculas de ADN son filamentos largos y extremadamente delgados. En general, los organismos más complejos, como los mamíferos, tienen una cantidad de ADN mayor que los más sencillos, como las bacterias; sin embargo esta regla no carece de excepciones; así, el dipnoo, un pez pulmonado, posee una cantidad de ADN por célula muy superior a la de los seres humanos.

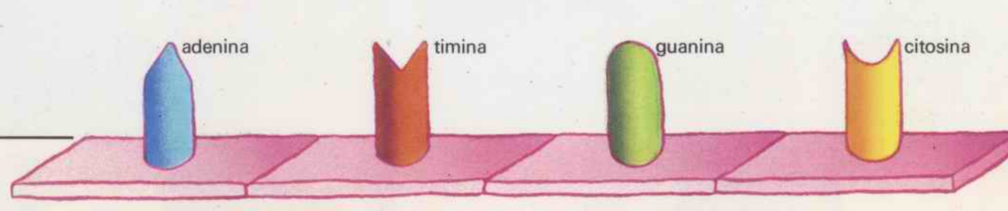
El ADN se compone de moléculas complejas, llamadas nucleótidos. A su vez, cada nucleótido consta de tres "bloques": un grupo *fosfato*, que contiene fósforo, oxígeno e hidrógeno; un azúcar denominado *desoxirribosa*, al que alude la letra D en las siglas ADN; y una molécula cíclica que contiene nitrógeno, la llamada *base*. Hay cuatro tipos distintos de nucleótidos según la base que contienen: *adenina, timina, guanina* o *citosina*; estas bases suelen denominarse abreviadamente con las letras A, T, G y C respectivamente. En cada nucleótido, el azúcar va unido covalentemente por un lado al grupo fosfato y por otro a la base de que se trate. Los nucleótidos pueden polimerizar para dar largas cadenas lineales por el sencillo método de que cada fosfato se una al azúcar del nucleótido inmediato anterior; la base no interviene en la polimerización.

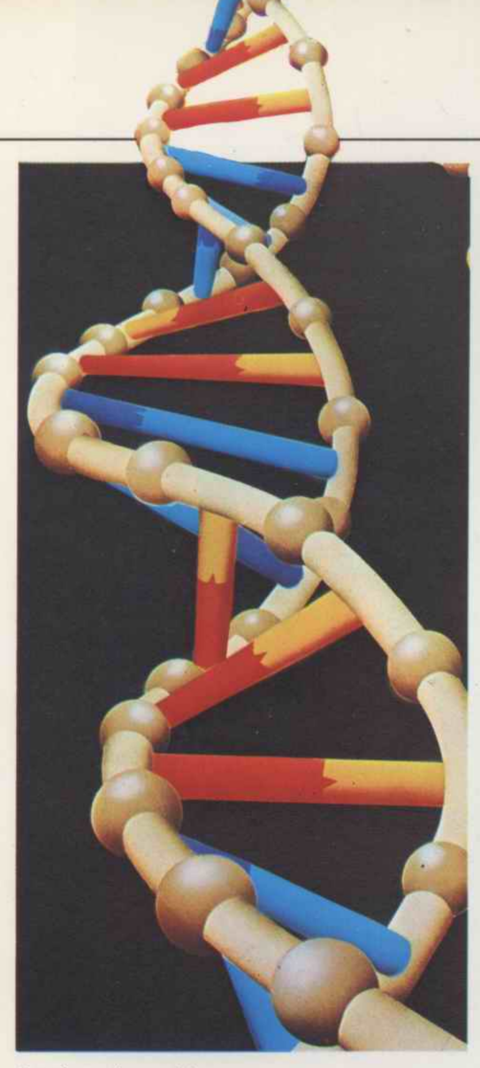
Hacia 1950 muchos científicos eran conscientes de que las importantes funciones del ADN podrían comprenderse mejor si se conociera su estructrua molecular completa. Tras algunos años de esfuerzos infructuosos, durante los cuales distintos autores fueron emitiendo hipótesis que resultaron ser incorrectas, en 1953, un joven y brillante investigador norteamericano de veintiséis años, James Dewey Watson, y su compañero, el químico inglés de treinta y siete años Francis Crick,



Sobre estas líneas, representación esquemática de una célula seccionada transversalmente, en la que pueden observarse sus diversos constituyentes. El ADN queda confinado al interior del núcleo, mientras que el ARN se encuentra tanto en el núcleo como en el citoplasma. Hay tres clases distintas de ARN: mensajero, transferente y ribosómico, y todas ellas se sintetizan bajo la dirección del ADN, proceso denominado *transcripción*. En la página siguiente, arriba, a la izquierda, puede verse un modelo de doble hélice de la estructura del ADN, con las bases nitrogenadas en el interior de la molécula, uniendo las dos cadenas. Cada nucleótido (esquematizado aquí abajo, en esta misma página) se aparea solamente con su complementario a través de las bases respectivas.







construyeron distintos modelos rudimentarios del ADN mediante piezas metálicas que representaban las moléculas constituyentes de los nucleótidos, piezas que unían y enlazaban de modos diversos. Tras varios meses de trabajo, construyeron un extraño modelo, que recordaba a una escultura cubista de los años veinte: se trataba del primer modelo de la ahora famosa "doble hélice". Cuando la hipótesis de la doble hélice se vio confirmada por los resultados de los estudios mediante rayos X de la estructura del ADN, las revolucionarias consecuencias del descubrimiento dieron lugar a la concesión del premio Nobel, en 1962, a Watson y Crick, y a que las siglas ADN se convirtieran en una de las abreviaturas más famosas del mundo.

La doble hélice Si nos pudiéramos empequeñecer tanto como para poder observar a simple vista un trozo de ADN, veríamos algo parecido a una escalera muy larga a la que se hubiera hecho rotar por un extremo en un sentido y por el otro extremo en sentido opuesto. Esa es la estructura que Watson y Crick llamaron de *doble hélice*. Cada hélice sencilla está constituida por un polímero lineal de nucleótidos, como los que antes mencionamos. Al ensamblarse en hélice doble, el armazón de fosfato y azúcar alternantes queda hacia el exterior, como si fueran los lados de la escalera; en cambio, las bases de los sucesivos nucleótidos quedan hacia el interior, como si fueran los peldaños de la escalera. A cada nucleótido de una hélice le corresponde otro en la otra hélice de la escalera; ambos nucleótidos quedan unidos precisamente por sus bases, que al estar ambas en la zona interior de la escalera quedan una frente a la otra. Pero estas *parejas* de bases no pueden ser cualesquiera: si el nucleótido de una cadena lleva adenina, el *complementario* de la otra cadena debe llevar timina; si timina, adenina; si guanina o citosina, citosina y guanina respectivamente; en resumen, que las parejas posibles son adenina-timina y guanina-citosina solamente.

El modelo de la doble hélice tiene el mérito de que explica cómo se replica el ADN e igualmente su modo de controlar la estructura de las proteínas.

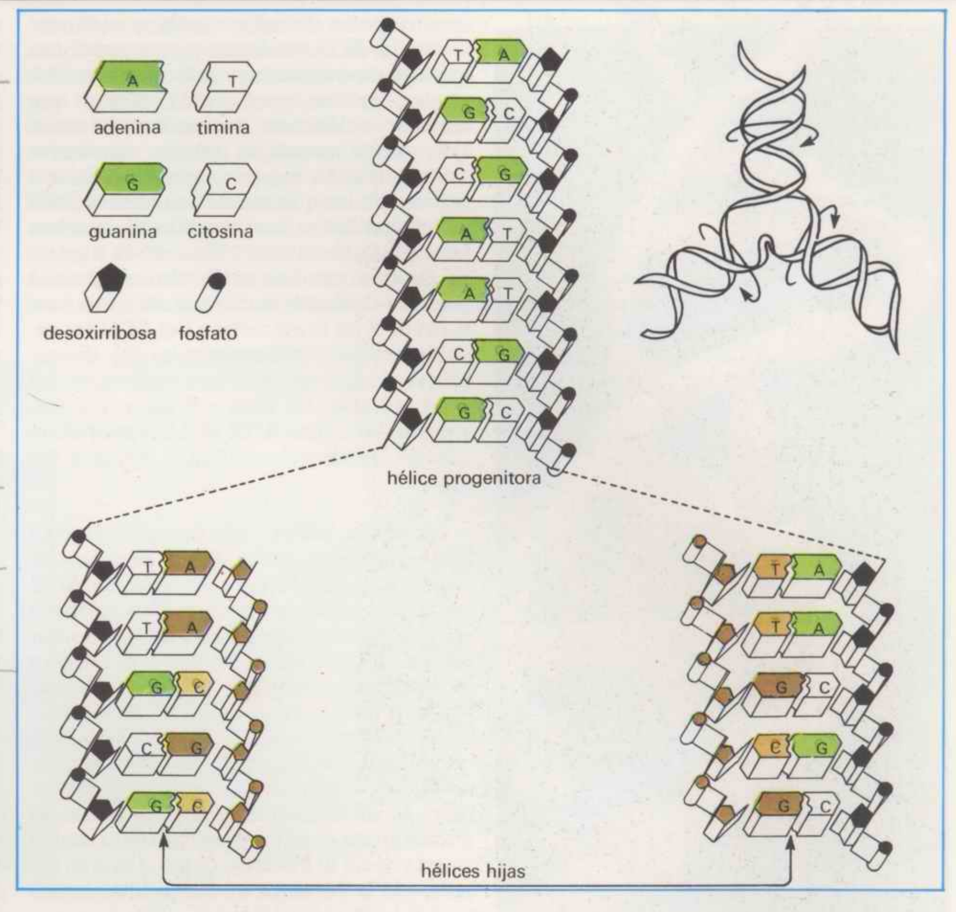
La replicación del ADN Imaginemos que colocamos un filamento en doble hélice de ADN en un "medio" rico en nucleótidos libres. Si la doble hélice se abre como una cremallera, de modo que cada cadena se separe de la otra, las bases que constituían los peldaños quedarán en contacto con el medio. Podemos seguir imaginando que los nucleótidos del medio entran en contacto con las bases de la cadena y que sus bases se aparean con las complementarias en el filamento. Si ahora el fosfato de cada nucleótido libre se une a la desoxirribosa del anterior, el resulta-

Las dos cadenas del ADN se separan y una de ellas sirve de molde para la síntesis de una molécula de ARN; las moléculas de ARN sintetizadas así en el núcleo emigran al citoplasma, donde dirigen la síntesis de los polipéptidos, ↓

aminoácido
ribosoma
ARNt (ARN de transferencia)
ARN naciente
ARN mensajero
proteína

↓ polímeros de moléculas más sencillas llamadas *aminoácidos*. Esta síntesis requiere la colaboración del ARN mensajero con los transferentes en la superficie de los ribosomas.

do será una nueva cadena de nucleótidos, complementaria exactamente de la que le sirvió de molde. Así, la doble hélice inicial habrá dado origen a dos dobles hélices independientes, aunque idénticas entre sí y a la original. El modo real de replicación del ADN es más complicado de lo que este sencillo "experimento mental" indica, pero el mecanismo básico es el aquí descrito.



La información genética Las *proteínas* son moléculas grandes, esenciales a la vida celular porque catalizan las reacciones del metabolismo, transportan sustancias del exterior al interior celular y viceversa, sirven de soporte a filamentos y superficies celulares y cumplen otras varias funciones. Cada proteína consta de uno o varios *polipéptidos*; a su vez, cada polipéptido consta de una larga cadena lineal de moléculas más sencillas, llamadas *aminoácidos*. Se conocen cerca de 200 aminoácidos, pero sólo 20 entran a formar parte de la estructura de los polipéptidos. Todos los aminoácidos constan de carbono, oxígeno, hidrógeno y nitrógeno (¡los mismos elementos que componían los nucleótidos!) y alguno lleva también azufre (un elemento que no aparece en el ADN).

Un polipéptido dado se caracteriza por poseer una *secuencia de aminoácidos* específica y constante; polipéptidos distintos presentan distintas secuencias de aminoácidos; por tanto, a la hora de sintetizarlos la célula necesita disponer de la información que indique en qué orden deben engarzarse los aminoácidos de cada polipéptido; esa información la proporciona, en última instancia, el ADN y constituye lo que ha venido en llamarse *información genética* de la célula.

La información genética viene dada en unidades elementales o *codones*; cada codón es un conjunto de tres bases consecutivas de una misma cadena de la doble hélice y especifica un aminoácido determinado. Por ejemplo, citosina, citosina y timina forman el codón CCT, al que corresponde el aminoácido glicina. Un *gen* es el conjunto de codones adyacentes que determina la secuencia de aminoácidos de una proteína dada. Cada base de la cadena de ADN pertenece a un único codón y no hay nucleótidos que separen unos codones de otros. Por ejemplo, la secuencia de bases AATAATGAATTTGCTCATGGA corresponde a la secuencia de codones AAT-AAT-GAA-TTT-GCT-CAT-GGA, que determinaría el polipéptido leucina-leucina-lisina-arginina-valina-prolina.

Como sólo hay veinte aminoácidos distintos en los polipéptidos, mientras que el número de codones posibles es de 64, o bien no todos los codones especifican un aminoácido o bien algunos aminoácidos vendrán especificados por más de un codón. De hecho, hay tres codones, AAT, ATC y ACT, que no codifican aminoácido alguno; estos tres codones "sin sentido" actúan en realidad como "signos de puntuación" en el mensaje genético: son señales que indican cuándo debe acabar la síntesis del polipéptido naciente. Los 61 codones restantes se emplean para codificar los veinte aminoácidos de los polipéptidos, de modo que algunos aminoácidos, como leucina, serina y arginina, vienen codificados por seis codones cada uno, otros aminoácidos por cuatro codones, etc. De dos codones que especifican un mismo aminoácido se dice, por motivos obvios, que son *codones sinónimos*. Acabamos de ver que hay grupos de 6 codones sinónimos y de cuatro codones sinónimos en el *código genético*; lo que nunca se ha encontrado es un *codón ambiguo*, es decir, uno que especifique dos aminoácidos distintos; parece lógico que no existan codones ambiguos, puesto que, al intentar traducirlos, la célula no sabría cuál de los dos aminoácidos debe incorporarse al polipéptido naciente.

Los ácidos ribonucleicos El ADN no se encarga directamente de sintetizar las proteínas; se trata de una molécula tan valiosa —muchos tipos de células sólo disponen de una copia de cada gen— que ha resultado ventajoso en el curso de la evolución emplearla para dirigir la síntesis de unas moléculas intermediarias, los *ácidos ribonucleicos* o ARNs, las cuales llevan a cabo la síntesis de las numerosas proteínas celulares. Algunos autores han llegado a postular que la información genética primigenia iba ligada a moléculas de ARN y que, posteriormente, surgió el ADN como una especie de "archivo protegido" de dicha información.

El ARN es químicamente muy parecido al ADN, estando también formado por la polimerización de nucleótidos, que se diferencian de los del ADN en que llevan el azúcar *ribosa*, en vez de desoxirribosa, y en que en los sitios en los que el ADN llevaría la base timina, el ARN lleva otra base muy parecida: el *uracilo*.

Las moléculas de ARN de las células no responden al modelo de la doble hélice; son siempre moléculas de filamento sencillo. Dicho filamento único consta de una secuencia de nucleótidos que es complementaria de alguna secuencia del ADN de esa célula; dicho trozo de ADN es el *gen* bajo cuya dirección se sintetizó el ARN, en un proceso llamado *transcripción*, cuyo mecanismo es muy parecido al descrito para la replicación del ADN. En las células eucariontes, provistas de núcleo verdadero, la *transcripción* tiene lugar en el núcleo, donde está el ADN, y, posteriormente, las moléculas de ARN allí sintetizadas emigran al citoplasma, por un proceso aún mal conocido, donde cumplirán sus misiones metabólicas.

Según la función que desempeñan, distinguimos tres clases de moléculas de ARN en las células: *transferente* (ARNt), *ribosómico* (ARNr) y *mensajero* (ARNm).

Cada célula dispone de más de veinte tipos distintos de moléculas de ARNt; todos los tipos tienen en común ser moléculas pequeñas —de unos 80 nucleótidos—, ser capaces de unirse a un aminoácido dado —característico del tipo de ARNt de que se trate—, y poseer una se-

Lawrence Livenmore National Laboratory

cuencia de tres bases consecutivas, el *anticodón*, complementarias de las tres bases del codón que especifica el aminoácido que va unido a dicho transferente.

Los ARN ribosómicos son moléculas que se unen a proteínas para formar unos pequeños gránulos intracelulares, los *ribosomas*, en los que tiene lugar la síntesis de proteínas.

La secuencia de aminoácidos de cada polipéptido viene determinada por la secuencia de codones de un ARN mensajero correspondiente. En los ribosomas, el ARN mensajero se encuentra como sumergido en una solución repleta de transferentes cargados con sus aminoácidos pertinentes; cuando el anticodón del transferente resulta complementario del codón del mensajero, ambas moléculas permanecen unidas un corto lapso de tiempo, el suficiente para que el aminoácido portado por el transferente se incorpore al polipéptido naciente. De este modo, aminoácido a aminoácido, el polipéptido va creciendo, guiado por el ARN mensajero con la ayuda de los ARN transferentes. Una misma molécula de ARN mensajero puede utilizarse para sintetizar muchas copias de un mismo polipéptido, un trabajo que, de ser llevado a cabo directamente por el ADN, expondría a ésta molécula a un desgaste innecesario.

Véase **Acidos y bases; Aminoácidos; Biología molecular; Bioquímica; Célula; Genética; Proteínas; Reproducción**

Arriba, en la página anterior, un esquema de la replicación del ADN según las predicciones del modelo de Watson y Crick. Cada cadena del ADN parental se separaría de la otra y actuaría como molde para la síntesis de una cadena. complementaria. El resultado sería dos dobles hélices iguales entre sí y a la inicial. En la parte superior de esta página, microfotografía electrónica de genes dirigiendo la síntesis de ARN ribosómico. A la izquierda de estas líneas, reconstrucción por computador de un segmento de ADN.

Destilación

Aunque la destilación nos recuerde antiguas prácticas de alquimia, la fraudulenta ciencia medieval, este proceso nos ofrece, sin exageración alguna, la posibilidad de muchas transformaciones. Nos permite obtener licores de los cereales o de la fruta y transformar el petróleo sin refinar en gasolina.

Destilación simple El objetivo de la destilación no es otro que separar sustancias en su estado puro, partiendo de una mezcla de las mismas. Esto se consigue introduciendo la sustancia impura, generalmente un líquido, en un recipiente en forma de globo, como por ejemplo un *matraz*. A medida que el recipiente se va calentando, una cierta cantidad de las sustancias más volátiles (que se vaporizan con más facilidad) alcanza el punto de ebullición y se evapora, es decir, se transforma en gas, cuyos vapores suben a través de un tubo hacia la salida.

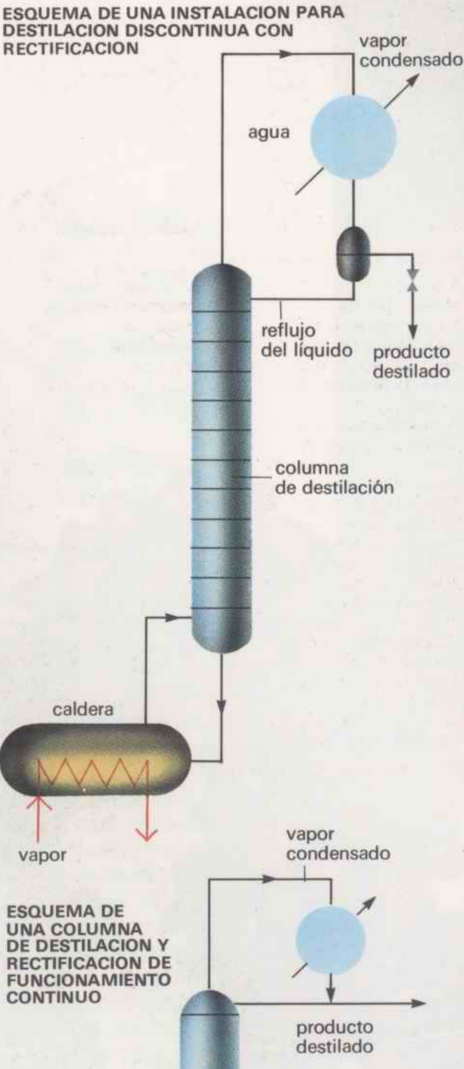
En la segunda fase de la destilación simple estos vapores se enfrían y la sustancia vuelve al estado líquido. Esta fase se llama *condensación* y tiene lugar en el condensador. Este aparato está constituido por dos tubos de distinto diámetro, dispuestos uno dentro del otro. Por el tubo exterior circula una sustancia refrigerante. A medida que los vapores de la sustancia destilada pasan a través del tubo interior, son enfriados y se condensan. El producto líquido que se obtiene mediante este procedimiento se llama *destilado* y es recogido al final del condensador. La parte de la sustancia inicial que durante la destilación no alcanza el punto de ebullición constituye el *residuo*.

Destilación fraccionada Tomando como base el sencillo proceso descrito anteriormente, la destilación puede emplearse para muchas finalidades, según sea la naturaleza de las mezclas que queramos destilar y de los productos que pretendamos obtener.

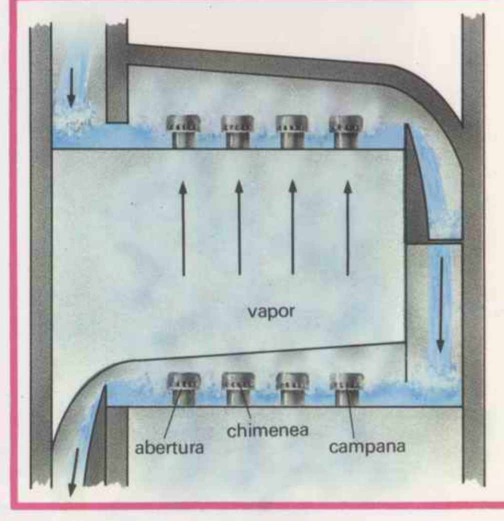
Si, por ejemplo, una vez separada de la mezcla la sustancia de más bajo punto de ebullición, el residuo contiene otras sustancias que nos interesan, aumentamos en fases sucesivas la temperatura hasta el punto de ebullición de las diferentes sustancias, separando así los distintos componentes de la mezcla. Es la llamada *destilación fraccionada*.

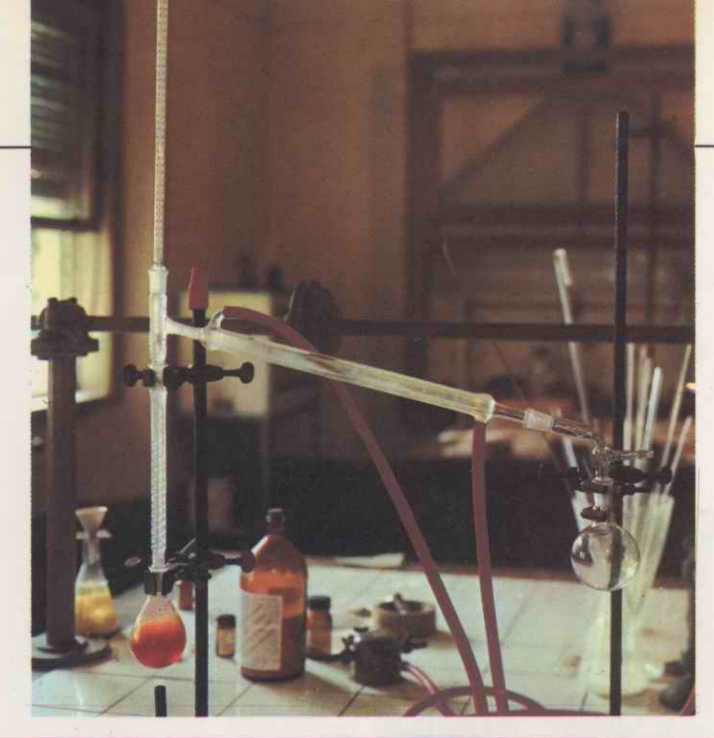
Un problema de la destilación simple consiste en que algunas moléculas de las sustancias menos volátiles, es decir, con punto de ebullición más alto, son vaporizadas generalmente junto con las moléculas de la sustancia de punto de ebullición más bajo, causando la formación de un destilado que contiene impurezas. En este caso puede efectuarse una nueva destilación y este procedimiento se llama *destilación múltiple*.

Los aparatos de destilación varían, desde los simples dispositivos utilizados en Química hasta las columnas de destilación empleadas en la industria, que pueden alcanzar una altura de hasta 100 metros y un ancho de hasta 5 metros. Las grandes instalaciones empleadas en las refinerías de petróleo pueden efectuar tanto la destilación fraccionada como la destilación múltiple. La columna de destilación fraccionada está escalonada en varios pisos o niveles formados por *platos de borboteo*. Los vapores ascienden desde el piso inferior al plato (o platos) del piso inmediato superior; ahí quedan retenidos parcialmente en una campana de condensación, borboteando la fracción no condensada a través de unos orificios practicados en la base de la campana, para ascender posteriormente al piso siguiente. Cuando los líquidos condensados alcanzan determinado nivel en los platos de cada piso, refluyen a los pisos inferiores por un tubo de descarga. Así se repite el proceso y se consigue una mejor separación de los distintos componentes. De esta forma los líquidos quedan retenidos en los distintos platos: los más volátiles en los platos superiores y los de mayor punto de ebullición (menos volátiles) en los inferiores. Al cabo de un tiempo de funcionamiento, se retiran los líquidos obtenidos en cada piso, previa comprobación de la separa-

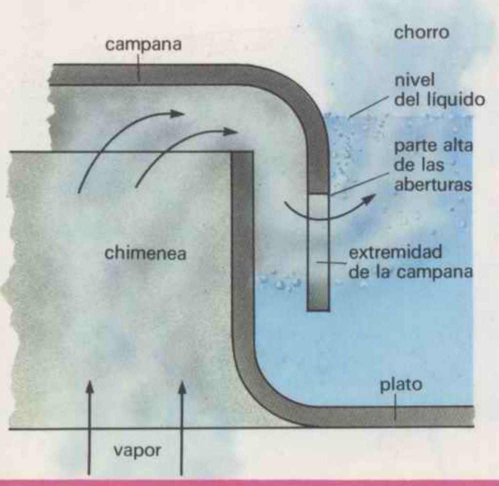


A la izquierda, y de arriba abajo, un destilador de funcionamiento discontinuo: un depósito calentado con una resistencia aislada y sumergida en el líquido le hace evaporar y el vapor sube al refrigerador donde una circulación de agua fría condensa el vapor. Con este tipo de destilador no puede obtenerse una sustancia pura: al principio se recogerá la sustancia más volátil, pero luego suben del depósito fracciones cada vez más ricas en componentes pesados. Debajo, una instalación de destilación discontinua con rectificación. En la alta columna que caracteriza la instalación se distribuyen unos platos que producen el descenso del líquido y la subida del vapor. Al final del funcionamiento, la columna en forma de torre ha recogido en la parte superior las fracciones más ligeras y abajo las más pesadas. Este tipo de torre permite efectuar la rectificación de una forma discontinua. Los líquidos son extraídos, procediéndose seguidamente a una nueva carga y una nueva separación. Más abajo, una instalación para destilación con rectificación continua.









A la izquierda, el principio de funcionamiento de los platos y de los separadores de una torre de rectificación y destilación. A su izquierda, dos platos en forma de campana y el recorrido del líquido que atraviesa una columna. El vapor sube por las chimeneas, tubos cilíndricos fijados a los platos provistos de una tapa con orificios: el líquido sobrante se desborda, mientras el vapor puede subir a través de los orificios de los platos. A su derecha, unos de esos platos en sección.

Arriba, a la izquierda, fotografía de la columna de Dufton, un pequeño destilador de cristal para laboratorio. A su derecha, otro destilador clásico de cristal: en el globo, en donde se encuentra la mezcla que debe → separarse, hay introducido un termómetro que controla la temperatura del proceso. Abajo, a la derecha, una gran instalación industrial para la obtención de productos farmacéuticos con destilación continua de los líquidos. En estas instalaciones sólo es posible efectuar la destilación de una determinada mezcla y el proceso se mantiene bajo control con instrumentos automáticos.

ción pretendida. Posteriormente se carga de nuevo la columna para la siguiente destilación.

En la destilación de bebidas alcohólicas, los cereales y la fruta fermentados son tratados para obtener una bebida de un contenido de alcohol mayor. Por ejemplo, para destilar el orujo de los residuos de la uva después de sacar el mosto, se procede a calentar la sustancia de partida. De esta forma el alcohol contenido alcanza su punto de ebullición, se evapora y después de la condensación se obtiene una bebida de alta graduación. Aunque la destilación ha sido utilizada durante milenios para purificar sustancias volátiles, puede ser también empleada para extraer subproductos de sustancias sólidas. Este procedimiento se denomina *destilación en seco o destructiva*.



Montedison

Véase **Cerveza; Condensación; Gasolina**

Detector de mentiras

Desde que se inventó, a finales del siglo pasado, el detector de mentiras ha representado un controvertido instrumento legislativo, considerado extremadamente útil por los tutores de la ley, a la vez que extremadamente ambigüo por los psicólogos. Aunque en la actualidad el detector de mentiras forma parte del modo de vida de los Estados Unidos y aproximadamente un millón de norteamericanos son sometidos al año a esta prueba, su utilización nunca ha sido tomada en consideración en Europa ni en otros lugares.

El detector de mentiras, llamado también *polígrafo*, sirve para medir un cierto tipo de reacción en individuos sometidos a interrogatorio: alteración del ritmo respiratorio, de la presión sanguínea, de las pulsaciones y de la transpiración.

Estas reacciones han sido elegidas por ser algunas de las reacciones fisiológicas involuntarias; la teoría en que se basa el detector de mentiras postula que el mentir causa precisamente ese tipo de fatiga emocional por la cual la respiración se acelera, se produce la sudación, etc. Según esta teoría, la interpretación de los resultados de esta prueba puede establecer la veracidad de las afirmaciones del sujeto.

Los equipos Los modernos polígrafos son máquinas de dimensiones reducidas, que caben en un maletín. Cada máquina tiene un cierto número de accesorios. El tubo del pneumógrafo es colocado alrededor del tórax del sujeto para medir las alteraciones respiratorias, mientras que una faja para apreciar la presión (del tipo de las utilizadas por los médicos) se envuelve alrededor del brazo con el fin de advertir variaciones en la presión y ritmo cardiaco. Se acoplan electrodos a los dedos para medir la respuesta galvánica de la piel, una medida de la conductividad eléctrica entre las partes del cuerpo sometidas a transpiración. En algunos casos se coloca otro pneumógrafo alrededor de la sección media del sujeto para medir la respiración abdominal.

Todos estos instrumentos están conectados a través de cables y las variaciones se registran mediante plumines sobre un cilindro giratorio de papel milimetrado.

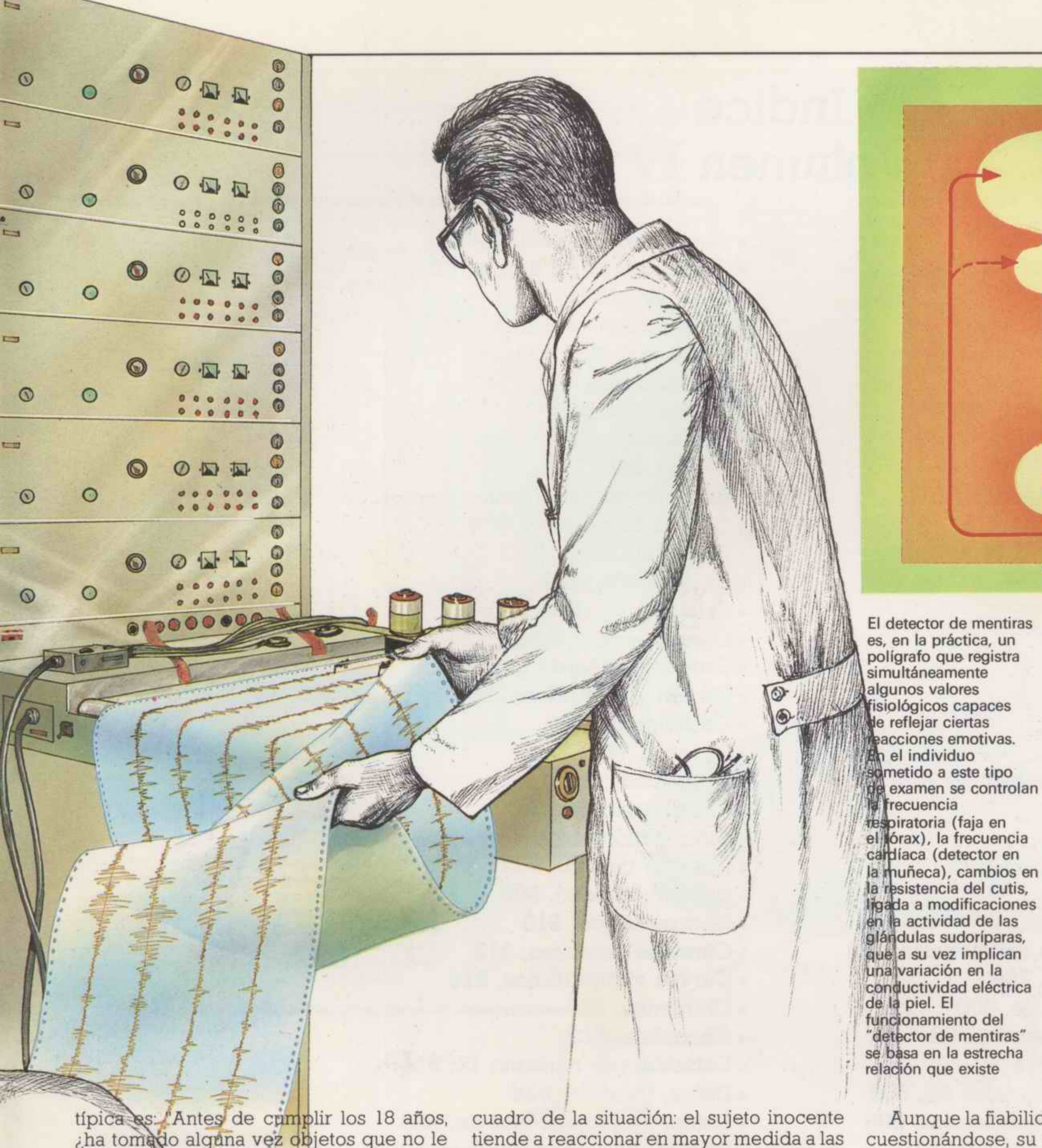
El primer polígrafo moderno, construido en 1921 por John A. Larson, un estudiante de Medicina, recibió ese nombre porque al menos tres respuestas distintas eran registradas simultáneamente en papel gráfico.

Técnica operativa El éxito de un *test* realizado con el detector de mentiras depende tanto del equipo como de la habilidad del investigador. El factor clave en cada prueba con el polígrafo consiste en la alternancia de preguntas de control (irrelevantes a los fines de la investigación en curso) y preguntas pertinentes (que tienen relación con el hecho que se intenta aclarar).

Las preguntas de control son formuladas para que el sujeto normalmente conteste mintiendo. Una pregunta de control



Las variaciones en la actividad de los órganos pueden ser transmitidas y amplificadas en el aparato que las imprime en una cinta de papel. Las mismas señales pueden ser transmitidas por radio.



El detector de mentiras es, en la práctica, un polígrafo que registra simultáneamente algunos valores fisiológicos capaces de reflejar ciertas reacciones emotivas. En el individuo sometido a este tipo de examen se controlan la frecuencia respiratoria (faja en el tórax), la frecuencia cardíaca (detector en la muñeca), cambios en la resistencia del cutis, ligada a modificaciones en la actividad de las glándulas sudoríparas, que a su vez implican una variación en la conductividad eléctrica de la piel. El funcionamiento del "detector de mentiras" se basa en la estrecha relación que existe entre algunos sectores del cerebro, expresiones de la vida emotiva (zona hipotalámica), sistema nervioso simpático, sistema endocrino y actividad de ciertos órganos. Una reacción emotiva (ligada, por ejemplo, a una mentira) se traduce en una variación de la actividad de algunos órganos o áreas (por ejemplo: corazón, sistema circulatorio, sistema respiratorio, piel, etc.) que puede ser registrada mediante instrumentos adecuados. Arriba, esquema que indica las relaciones recíprocas entre el sistema nervioso central, hipófisis y corteza suprarrenal.

típica es: "Antes de cumplir los 18 años, ¿ha tomado alguna vez objetos que no le pertenecían?" Aunque una respuesta afirmativa sea muy razonable, muchos responden negativamente, con sorpresa, miedo o nerviosos, de esta forma el polígrafo puede registrar una leve reacción fisiológica a la pregunta.

Preguntas pertinentes Según la teoría del polígrafo, las preguntas pertinentes separan a los inocentes de los culpables.

Cuando el operador pregunta: "¿El 4 de julio atracó usted el Banco de España?" El sujeto inocente contestará que no. Se considera, pues, que esta respuesta, al no ser mentira, producirá menos sudoración, aceleración del pulso u otra reacción fisiológica que la pregunta de control.

Cuando la misma pregunta es formulada al sujeto culpable, se espera que el polígrafo registrará una reacción mayor que la obtenida con la pregunta de control. Tras un período de 1-2 horas se tendrá el cuadro de la situación: el sujeto inocente tiende a reaccionar en mayor medida a las preguntas de control, mientras que el sujeto culpable reaccionará en mayor grado ante las preguntas pertinentes.

La prueba legal Ningún Estado norteamericano admite libremente la evidencia legal del resultado de una prueba realizada con el polígrafo, aunque ello se permite en veinticinco Estados siempre que los abogados de las dos partes estén de acuerdo. De todos modos, algunos psicólogos siguen considerando que sentimientos de ansiedad o indignación producen reacciones fisiológicas parecidas a las que produce mentir, y que los datos del detector de mentiras pueden resultar distorsionados. Además, los sentimientos subconscientes (agresividad, miedo, ansiedad, etc.) pueden influir en las respuestas ante el polígrafo incluso en el caso de un individuo inocente, haciéndolo aparecer como culpable.

Aunque la fiabilidad del polígrafo sigue cuestionándose, su utilización va en continuo aumento en Estados Unidos, si bien en Europa apenas se utiliza.

En los Estados Unidos, ante sucesos determinados que ponen en cuestión la integridad de personal de confianza, se pide a empleados de banca, de grandes almacenes o grandes empresas, e incluso del Departamento de Estado (en el caso de fuga de noticias), que se sometan a la prueba del polígrafo.

En Europa, sin embargo, el "detector de mentiras" nunca ha sido tomado en consideración seriamente desde el punto de vista legal y es utilizado únicamente con fines experimentales en psicología.

Véase **Corazón; Presión arterial; Respiración**

Indice
Volumen IV

